

VENTILAZIONE A DISLOCAMENTO NEI PAESI MEDITERRANEI: POTENZIALITA' E LIMITI DEL FREE COOLING

Stefano Paolo Corgnati ¹ – stefano.corgnati@polito.it

Marco Filippi ¹ – marco.filippi@polito.it

¹ Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica (DENER), Italy

Abstract.

Nella ventilazione a dislocamento, l'aria fresca e a bassa velocità è immessa direttamente nella zona occupata a livello del pavimento; essa quindi si muove verso l'alto per effetto delle forze di galleggiamento alimentate dai pennacchi termici all'interno della stanza e, infine, viene estratta, calda e contaminata, a livello del soffitto.

La temperatura dell'aria immessa in ambiente è tipicamente di circa 4-5 °C più alta con la ventilazione a dislocamento rispetto al caso di ventilazione a miscelazione e ciò porta spesso ad attribuire alla ventilazione a dislocamento una più ampia possibilità di impiego del free cooling, a cui dovrebbe far seguito una riduzione dell'uso del raffrescamento meccanico e, conseguentemente, minori consumi energetici. Attualmente, questi aspetti sono estremamente importanti in quanto le richieste di raffrescamento stanno estendendosi anche alle stagioni intermedie, specialmente nei paesi mediterranei.

In questo lavoro, le possibilità di risparmio energetico derivanti dall'impiego della ventilazione a dislocamento in modalità di free cooling sono analizzate e confrontate con la ventilazione a miscelazione, esaminando differenti condizioni climatiche di località italiane.

Keywords: *Ventilazione a dislocamento, free cooling, risparmio energetico, località mediterranee.*

1. INTRODUZIONE

La ventilazione a dislocamento (DV, *displacement ventilation*) è una strategia di ventilazione che ha raggiunto una grande popolarità in special modo nei paesi scandinavi e, più in generale nei paesi del nord Europa. Questa strategia di ventilazione non si è ancora diffusa in modo significativo nei paesi mediterranei sebbene proprio in questi paesi si richiedano modalità di raffrescamento e ventilazione sempre più efficienti al fine di contrastare i crescenti carichi termici da rimuovere dall'ambiente. Inoltre si assiste ad un sempre maggiore interesse nell'utilizzo di tecniche che ricorrano ad un uso il più ampio possibile del free cooling al posto del raffrescamento meccanico, ciò in un'ottica di "sostenibilità ambientale".

La ventilazione a dislocamento ha trovato applicazione prima in ambienti industriali in cui dovevano essere rimosse dall'ambiente sorgenti termiche e di contaminante di elevata entità. Attualmente l'applicazione di questa strategia di ventilazione si è estesa agli uffici, alle classi scolastiche, ai ristoranti, gli auditoria, ai teatri, etc. dove, tipicamente, la prima questione da affrontare è la qualità dell'aria oppure in presenza di locali di elevata altezza (sopra i 3 metri). Inoltre, la ventilazione a dislocamento risulta particolarmente efficace quando le sorgenti di contaminanti sono anche sorgenti termiche (sorgenti contaminanti calde).

Una delle principali motivazioni che rendono questa tecnica apprezzata è la possibilità di conseguire contemporaneamente elevati valori di efficacia di ventilazione (*ventilation*

effectiveness), indice legato alla distribuzione di contaminante in ambiente, e di efficacia di temperatura (*temperature effectiveness*), indice legato alla distribuzione di temperatura in ambiente (Nielsen, 1994). I pregi della ventilazione a dislocamento sono infatti sia la possibilità di ottenere un elevato grado di qualità dell'aria sia di adottare una strategia di rimozione dei carichi termici efficiente (Brouhs e Nielsen, 1996). A ciò si aggiunge la possibilità, come già precedentemente introdotto, di immettere l'aria di ventilazione ad una temperatura più elevata rispetto a quella dei tradizionali sistemi a miscelazione (MV, *mixing ventilation*). Questo fatto fa sì che la ventilazione a dislocamento venga spesso indicata come adatta ad un utilizzo ampio del free cooling nel corso dell'anno (Skistad et al, 2002; Skistad, 2002).

E' bene ricordare che con la ventilazione a dislocamento l'aria deve comunque essere immessa nel locale più fredda dell'aria ambiente. Conseguentemente, la DV è inadeguata per scopi di riscaldamento: nel caso in cui si debba riscaldare il locale, la DV deve essere accoppiata con un impianto integrativo come a radiatori o a pavimento radiante (Skistad, 2002).

In questo lavoro, dopo avere introdotto brevemente i principi base della ventilazione a dislocamento, sono esaminati le potenzialità e i limiti di utilizzo del free cooling con la DV, confrontandoli con quelli della MV. In particolare vengono analizzati i valori orari annui di temperatura dell'aria esterna di differenti località italiane al fine di quantificare sia l'estensione del periodo (in termini di numero di ore) in cui il free cooling può essere impiegato sia l'energia raffrescante ad esso associata.

2. BASI DELLA VENTILAZIONE A DISLOCAMENTO

La ventilazione a dislocamento basa il suo principio di funzionamento sulle differenze di densità dell'aria ambiente per cui si assiste ad un naturale movimento verso l'alto dell'aria calda. Con i dislocatori tradizionali, l'aria "fresca" a bassa velocità e ad una temperatura leggermente al di sotto di quella dell'aria ambiente è immessa nel locale a livello del pavimento. L'aria "calda e contaminata" viene invece rimossa a livello del soffitto (Filippi e Corgnati, 2003).

La distribuzione dell'aria in ambiente è veicolato dalle sorgenti termiche presenti nel locale che, generando intorno ad esse delle correnti convettive ascensionali, richiamano l'aria ambiente circostante e la trasportano nella parte alta del locale. Quando le sorgenti termiche sono anche sorgenti di contaminanti, le correnti ascensionali (pennacchi termici) trascinano con sé nella parte alta del locale anche i contaminanti (Kofoed e Nilesen, 1990; Mundt 1992).

I numerosi studi condotti sulla DV hanno evidenziato come nel locale si possano individuare due zone ben definite: nella parte alta del locale una zona con aria calda e contaminata (con aria miscelata) e nella parte bassa del locale una zona con aria fresca e pulita (con aria termicamente stratificata). Questa seconda zona deve comprendere la zona occupata dalle persone che quindi si trovano a respirare aria fresca e pulita (Corgnati et al. 2003). L'altezza di separazione delle due zone è detta altezza del piano neutro (*neutral height*): essa è un parametro fondamentale nel progetto dei sistemi a *displacement ventilation* (Xing e Awbi, 2000).

In figura 1 è illustrato qualitativamente il moto dell'aria e la distribuzione di contaminante e di temperatura in un locale con ventilazione a dislocamento.

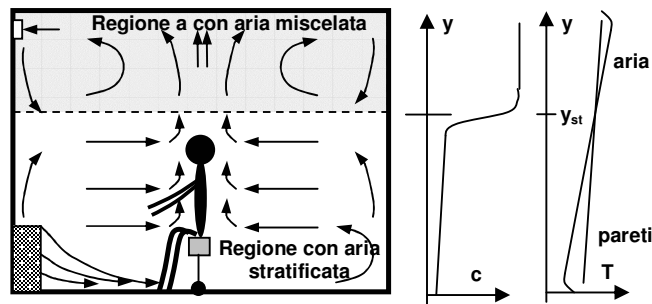


Figure 1 – Distribuzione dell’aria e profilo verticale della concentrazione di contaminante e della temperatura dell’aria e delle pareti in un locale con displacement ventilation

3. PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO PER IL FREE COOLING

Nella ventilazione a dislocamento l’aria è immessa in ambiente ad una temperatura superiore rispetto a quella del caso di ventilazione a miscelazione.

Il livello di temperatura di immissione dell’aria diventa confrontabile tra i due sistemi solo quando si adottano dislocatori ad “alta induzione” di nuova generazione (Skistad et al, 2002), per i quali è possibile operare con differenze di temperatura dell’aria tra estrazione e immissione fino a 8°C; questa tipologia di dislocatori non verrà considerata nei successivi confronti.

In tabella 1, sono rappresentati i tipici livelli di temperatura di immissione della portata d’aria assumendo come riferimento una temperatura dell’aria nella zona occupata di 23°C.

Tabella 1 – Livelli di temperatura dell’aria con DV e MV (temperatura della zona occupata di riferimento pari a 23°C)

Temperatura	[°C]	Note
T _{out,dv}	24	T aria estratta con DV
T _{occ,rif}	23	T zona occupata di riferimento (paria a T aria estratta con MV)
T _{in,max,dv} = T _{in,max,mv}	23	T teorica massima aria immessa con DV e MV
T _{in,min,dv} (trad)	20	T minima aria immessa con DV (dislocatori tradizionali)
T _{in,min,mv}	15	T minima aria immessa con MV

Come mostrato in tabella 1, con MV l’aria è immessa ad una temperatura di 8°C più bassa di quella nella zona occupata e all’estrazione (in quanto in un ambiente perfettamente miscelato i valori di temperatura nella zona occupata e all’estrazione coincidono).

Con DV, adottando dislocatori tradizionali, l’aria è invece immessa ad una temperatura di 3°C più bassa di quella nella zona occupata e subisce un incremento di temperatura di 4°C all’estrazione, come risulta applicando la regola del 50% per la stima del profilo di temperatura in un locale con ventilazione a dislocamento.

Infatti, come rappresentato in figura 2, sulla base del modello proposto da Skistad (1994), la relazione tra i valori di temperatura dell’aria in ambiente può essere formalizzata attraverso la relazione analitica:

$$\frac{T_f - T_{in}}{T_{out} - T_{in}} = 0.5 \quad (1)$$

che indica come la temperatura del pavimento T_f assuma tipicamente un valore intermedio tra la temperatura di immissione T_{in} e quella di estrazione T_{out} e che la variazione di temperatura tra soffitto e pavimento sia di tipo lineare. Questa regola è appunto detta regola del 50%: applicando l’equazione (1) e considerando come altezza di riferimento per la zona occupata un’altezza di 1,5m da pavimento, si verifica che per una tipica altezza del locale di 3m, il gradiente di temperatura dell’aria tra immissione e zona occupata è proprio pari a 3°C nel caso di utilizzo di dislocatori di tipo tradizionale.

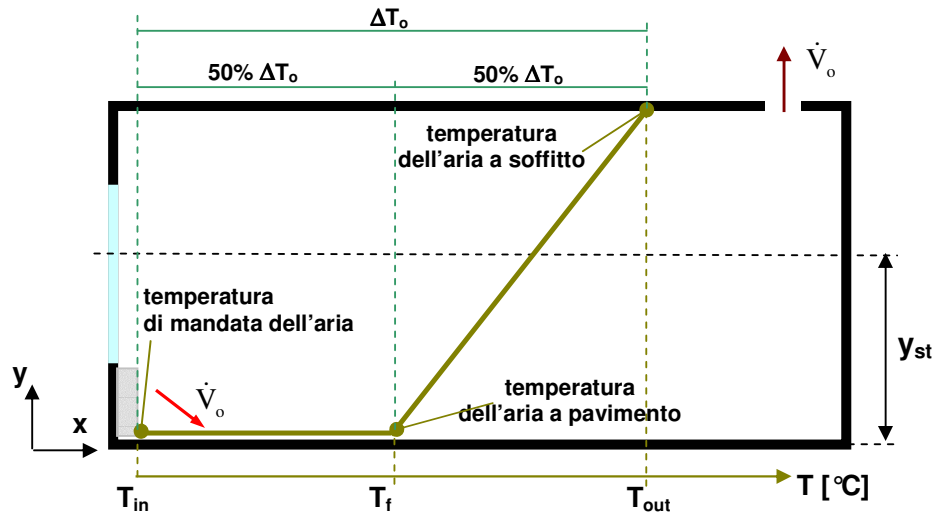


Figure 2 – Gradiente verticale di temperatura: “regola del 50%”

Sulla base di quanto esposto relativamente alle condizioni di immissione dell’aria in ambiente, risulta interessante verificare le potenzialità di free cooling con sistemi a dislocamento tradizionali e confrontarli con quelli a miscelazione.

A questo proposito è importante ricordare le portate d’aria di ventilazione che è necessario movimentare con queste due differenti strategie di ventilazione. Si prenderà in particolare come riferimento la portata d’aria necessaria per ogni persona presente nel locale (tabella 2).

Nel caso di ventilazione a miscelazione la portata d’aria minima è legata alla quantità d’aria necessaria ad ottenere un adeguato livello di qualità dell’aria (per un ufficio 11 litri/s pers).

Nel caso di ventilazione a dislocamento la portata d’aria minima è invece superiore: pari a 22 litri/s pers, nel caso di persona seduta e altezza del piano neutro di 1,5 m (Nielsen, 1996), essendo in questo caso stabilita non da esigenze di qualità dell’aria ma dalla necessità di alimentare adeguatamente il pennacchio termico generato dalla persona.

Tabella 2 – Portata d’aria per persona con ventilazione a dislocamento e miscelazione (ambiente ufficio)

Strategia di ventilazione	Portata d’aria minima [litri/s per persona]	Note
DV	22	per alimentare pennacchio termico (persona seduta)
MV	11	per garantire la qualità dell’aria

E’ evidente quindi che nel caso di DV l’impianto di ventilazione deve essere dimensionato per movimentare una portata d’aria doppia rispetto al caso di MV (tabella 2), ma opererà con un gradiente termico tra immissione ed estrazione di progetto pari alla metà di quello con MV (tabella 1). Il confronto tra i due sistemi di ventilazione è quindi condotto a parità di potenzialità raffrescante di progetto. In questa condizione, però, la qualità dell’aria ottenuta con DV è decisamente superiore: infatti, la cosiddetta “regola del 30%” (Filippi e Corgnati, 2003) stabilisce che la concentrazione di contaminante nella zona occupata nel caso DV è pari al 30% di quella nel caso MV a parità di portata d’aria di rinnovo.

Al fine di evidenziare le potenzialità e i limiti del free cooling con DV e MV in una specifica località, si sono rielaborati in termini di distribuzione in frequenza e frequenza cumulata i valori orari di temperatura esterna per la località in esame. Attraverso l’esame di questi diagrammi, si è potuto evidenziare il numero di ore nel quale è possibile impiegare il free cooling.

In particolare sono state definite le seguenti grandezze:

- **DMS, Disponibilità Massima di Sottotemperatura¹**, definita come il numero di ore all'anno in cui la temperatura dell'aria esterna è minore o uguale alla massima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{estena} \leq T_{in,max}$);
- **DmS, Disponibilità minima di Sottotemperatura**, definita come il numero di ore all'anno in cui la temperatura dell'aria esterna è minore o uguale alla minima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{estena} \leq T_{in,min}$);
- **DMSocc, Disponibilità Massima di Sottotemperatura** durante le **ore di occupazione** del locale, definita come il numero di ore all'anno in cui la temperatura dell'aria esterna è minore o uguale alla massima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{estena} \leq T_{in,max}$ nel periodo di occupazione dei locali);
- **DmSocc, Disponibilità minima di Sottotemperatura** durante le **ore di occupazione** del locale, definita come il numero di ore all'anno in cui la temperatura dell'aria esterna è minore o uguale alla massima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{estena} \leq T_{in,min}$ nel periodo di occupazione dei locali);
- **DOT, Disponibilità Operativa di Temperatura** per free cooling, definita come il numero di ore all'anno in cui la temperatura dell'aria esterna è compresa tra la massima e la minima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{in,min} \leq T_{estena} \leq T_{in,max}$);
- **DOTocc, Disponibilità Operativa di Temperatura** per free cooling durante le ore di occupazione del locale, definita come il numero di ore all'anno in cui è compresa tra la massima e la minima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile nel periodo di occupazione dei locali ($T_{in,min} \leq T_{estena} \leq T_{in,max}$ nel periodo di occupazione dei locali).

Si è poi definita la:

- **Energia Raffrescante Operativa (ERO)**, definita come energia raffrescante annua per free cooling durante le ore di occupazione del locale (riferita ad ogni occupante a cui è associata la portata d'aria di Tabella 2) ottenuta quando la temperatura dell'aria esterna è compresa tra la massima e la minima temperatura dell'aria in immissione ritenuta accettabile ($T_{in,min} \leq T_{estena} \leq T_{in,max}$) per la specifica strategia di ventilazione (DV e MV).

Queste grandezze sono state valutate per le località italiane scelte come oggetto di analisi.

4. CASI STUDIO

La potenzialità di impiego del free cooling con DV e MV è stata investigata attraverso l'analisi delle condizioni climatiche (Test Reference Year, TRY) di differenti località italiane (tabella 3).

Tabella 3 – Dati climatici dei siti esaminati

Località	Latitudine nord	Longitudine (Est di Greenwich)	Altezza (s.l.m.)	$T_{esterna}$ [°C] Min annua	$T_{esterna}$ [°C] max annua	$T_{esterna}$ [°C] media annua
Venezia	45°30'	12°13'	5	-5,8	33,6	13,1
Milano	45°26'	9°46'	103	-9,4	33,6	12,4
Genova	44°25'	8°51'	3	-0,6	33,2	115,2
Bologna	44°31'	11°18'	49	-9,9	34,6	10,7
Roma	41°48'	12°36'	2	-4	35,1	15,3
Cagliari	39°15'	09°03'	18	-1,2	36	16,4
Crotone	39°00'	17°15'	158	-2,2	26,4	16,3

Attraverso l'elaborazione in termini di distribuzione in frequenza e frequenza cumulata dei valori orari di temperatura esterna per la località di tabella 3, sono stati determinati i valori dei parametri

¹ Con sottotemperatura (*under-temperature*) si intende una temperatura inferiore a quella scelta come valore di riferimento.

definiti al paragrafo precedente. Come ore di occupazione, sono state scelte quelle tipiche di un edificio ad uso ufficio (occupazione tra le ore 8 alle ore 19).

In figura 3 è presentato, a titolo di esempio per la città di Venezia, la distribuzione in frequenza e la frequenza cumulata dei valori orari annui di temperatura esterna.

In figura 4, 5, 6 e 7 sono presentate rispettivamente le grandezze DMS e DmS, DMSocc e DmSocc, DOT e DOTocc nel caso di sistemi DV e MV.

Infine in figura 8 è presentata l'Energia Raffrescante Operativa ERO nel caso di sistemi DV e MV.

Come si osserva in figura 4 (e figura 5), la DMS assume lo stesso valore per tutti e due i sistemi investigati in quanto per questi si è fissata la stessa temperatura massima accettabile limite, pari alla temperatura della zona occupata ($T_{in,max}$, limite = Tocc, si veda Tabella 1). E' interessante notare che il numero di ore annuali in cui la temperatura dell'aria esterna è inferiore a questa temperatura limite è estremamente elevato per tutte le località, sempre superiore a circa 7200 ore/anno, corrispondente a circa 80% del tempo (restringendo l'esame alle ore di occupazione, il valore è sempre superiore a circa 3100 ore/anno, cioè circa 70% delle ore di occupazione).

La DmS è massima nel caso DV in quanto è con questo sistema che si lavora con la $T_{in,min}$ più elevata. Si osserva che la DmS con DV comprende almeno circa 70% delle ore annuali (questa percentuale si abbassa a 60% esaminando le sole ore di occupazione in figura 5), mentre nel caso MV la DmS comprende almeno circa 45% delle ore/anno (circa 40% considerando le sole ore di occupazione).

Questi risultati testimoniano l'ampia possibilità di adozione di strategie di free cooling in tutte le località italiane esaminate, peraltro rappresentative di differenti situazioni climatiche dell'area mediterranea. E' evidente poi che nel caso di DV, caratterizzato da una temperatura di immissione dell'aria sensibilmente più elevata rispetto al caso MV, si dispone di un "potenziale di aria fredda prelevata dall'esterno" estremamente ampio, come dimostra il valore elevato assunto dalla grandezza DmS.

Passando poi ad esaminare i diagrammi in figura 6 (e in figura 7) relativi alla DOT (e la DOTocc) emerge chiaramente come il periodo di tempo in cui la temperatura esterna si trova all'interno dell'intervallo di temperatura tipico per l'immissione dell'aria in ambiente ($T_{in,min} \leq T_{esterna} \leq T_{in,max}$) si mantiene tra 25% e 40% delle ore/anno nel caso di MV (tra 30% e 35% considerando le sole ore di occupazione). Con la DV i valori si riducono sensibilmente e si attestano intorno a 10% (la stessa percentuale si osserva considerando le sole ore di occupazione). Questi risultati sono congruenti con il fatto che con la MV l'intervallo di temperatura sfruttato è di ampiezza maggiore (doppia) rispetto a quello con la DV.

Questi risultati evidenziano come comunque esistano dei periodi di tempo non trascurabili in cui la temperatura dell'aria esterna si trova a temperature "potenzialmente" adatte ad una immissione diretta in ambiente.

In figura 9, infine, è presentato il digramma dell'Energia Raffrescante Operativa per tutte le località in esame. Emerge chiaramente che la ERO è sempre maggiore nel caso MV. Nel caso DV, la sensibile riduzione dell'intervallo di temperature d'immissione accettabili rispetto al caso MV è infatti soltanto parzialmente compensato dall'incremento di portata: la ERO con DV tradizionale risulta mediamente pari a 0,75 volte quella del corrispondente caso MV.

E' evidente quindi che, a differenza di quanto spesso indicato nella letteratura tecnica, la MV presenta una "predisposizione" al free cooling maggiore rispetto alla DV, sia in termini di ore/anno compatibili con l'adozione di una strategia di free cooling sia in termini di capacità di rimozione del carico termico. Affinché la DV divenga una soluzione migliore della DV nella sua "predisposizione" al free cooling è necessario adottare dislocatori "ad elevata induzione" di nuova generazione che, oltre a movimentare elevate portate d'aria, sono in grado di operare con temperature di immissione del tutto confrontabili con quelle della MV (nelle località in esame con tali sistemi la ERO risulterebbe mediamente 2,5 volte più elevata del caso MV).

E' opportuno infine precisare che mentre la portata d'aria minima nel caso MV è definita sulla base del numero di persone per ragioni di qualità dell'aria, nel caso DV questo è solo uno dei parametri da considerare per la quantificazione della portata da immettere: infatti ogni sorgente termica

presente nel locale richiede una portata d'aria da immettere in ambiente attraverso il dislocatore, al fine di alimentare il proprio pennacchio termico. A titolo di esempio, considerando una tipica configurazione di ufficio singolo con una persona seduta, un personal computer e una lampada da tavolo, con una altezza del piano neutro di 1,3 m, la portata d'aria da immettere risulterebbe pari a 43 litri /s (Filippi e Corgnati, 2003): applicando questa portata ai casi in esame la ERO con DV tradizionale risulterebbe pari a 1,5 volte quella con MV.

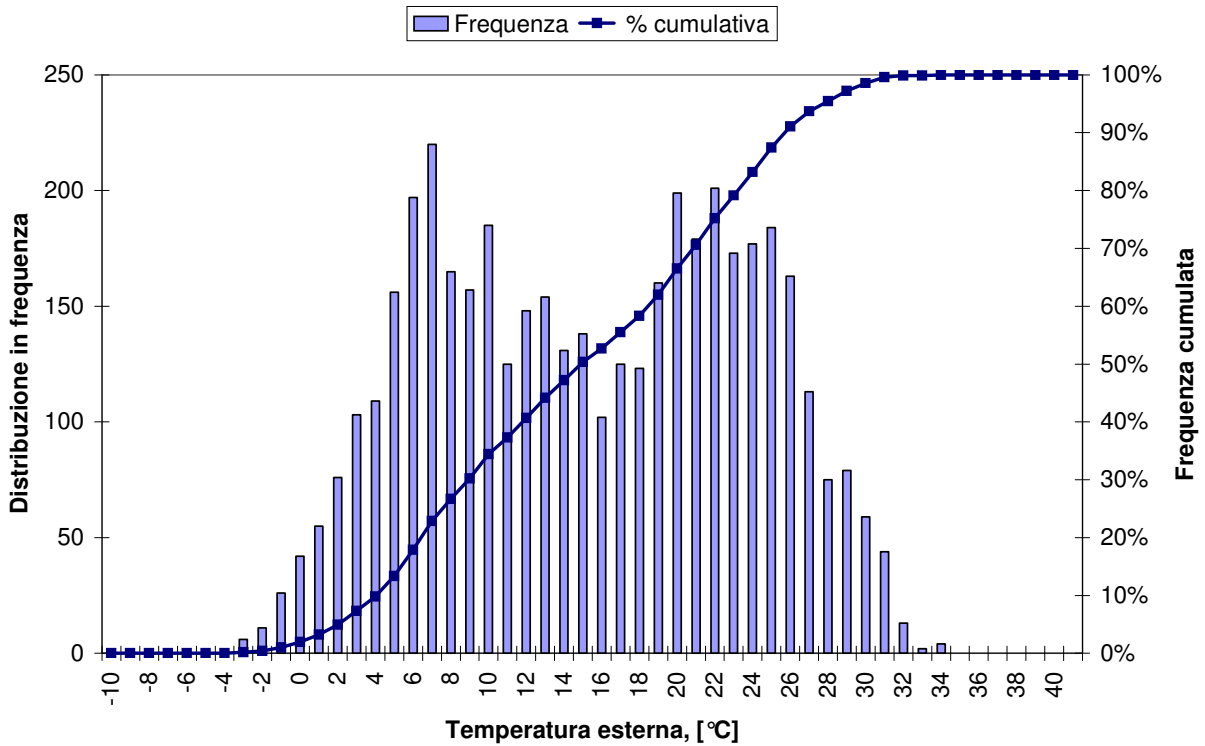


Figura 3 - Distribuzione in frequenza e frequenza cumulata dei valori orari annui di temperatura esterna per la città di Venezia.

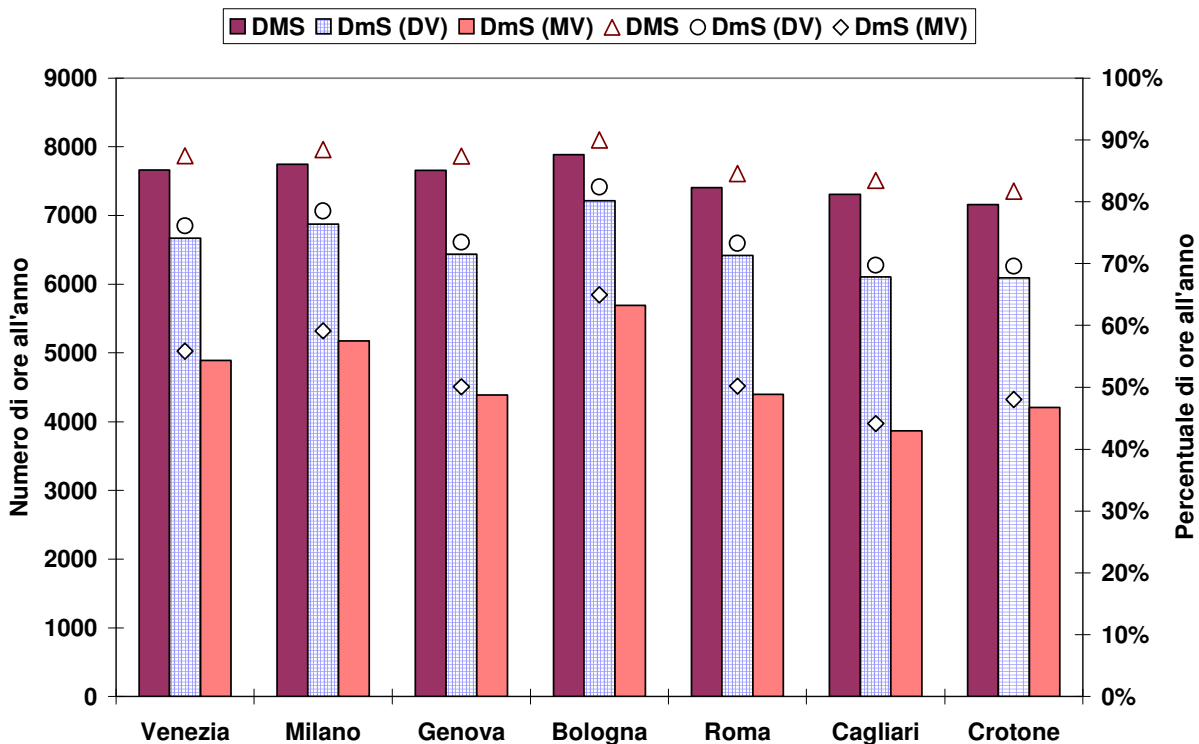


Figura 4 - Disponibilità Massima (DMS) e Disponibilità minime di Sotto-temperatura (DmS) con DV e MV - Numero totale di ore: 8760

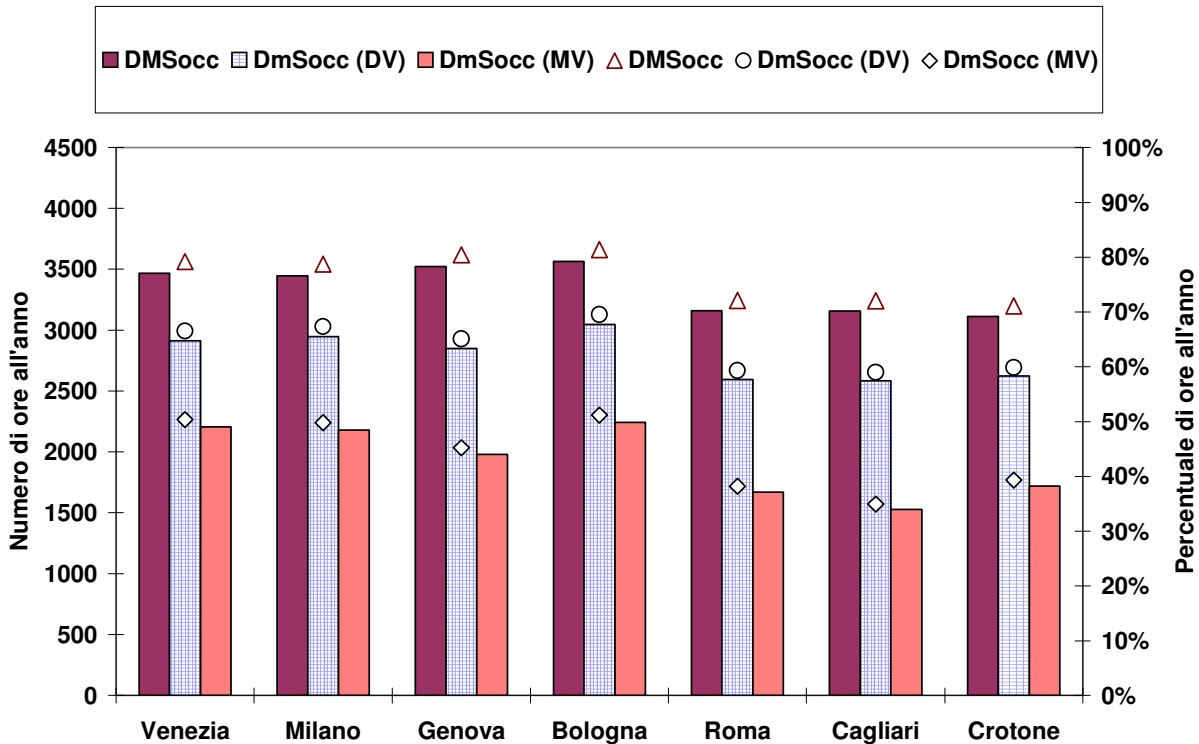


Figura 5 - Disponibilità Massima (DMSocc) e Disponibilità minime di Sotto-temperatura (DmSocc) con DV e MV durante le ore di occupazione del locale - Numero totale di ore: 4380

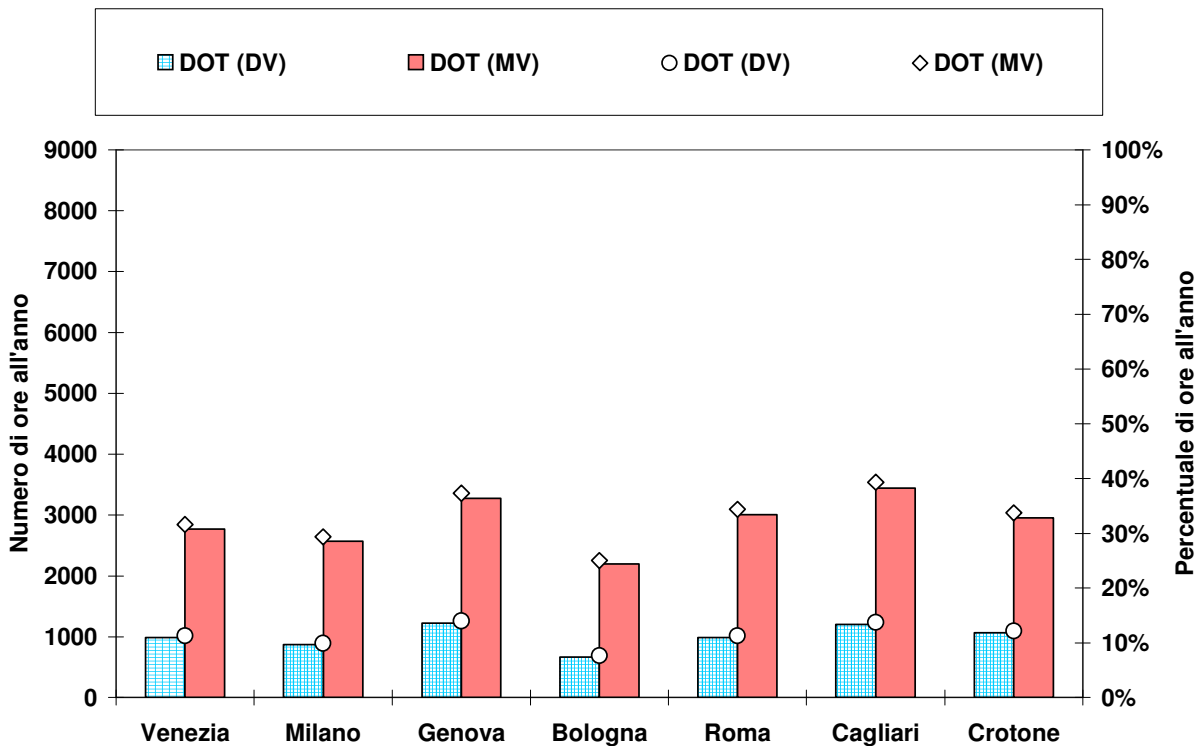


Figura 6 - Disponibilità Operative di Temperatura (DOT) con DV e MV - Numero totale di ore: 8760

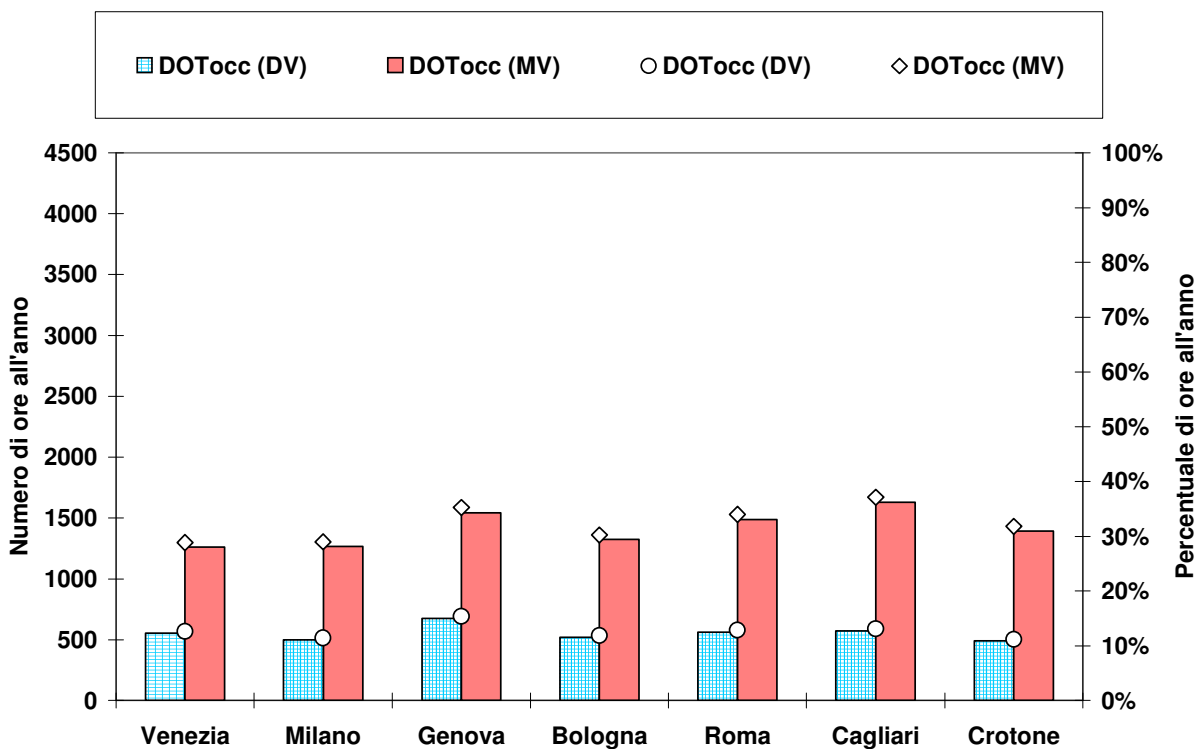


Figura 7 - Disponibilità Operative di Temperatura (DOTocc) durante le ore di occupazione del locale con DV e MV - Numero totale di ore: 4380

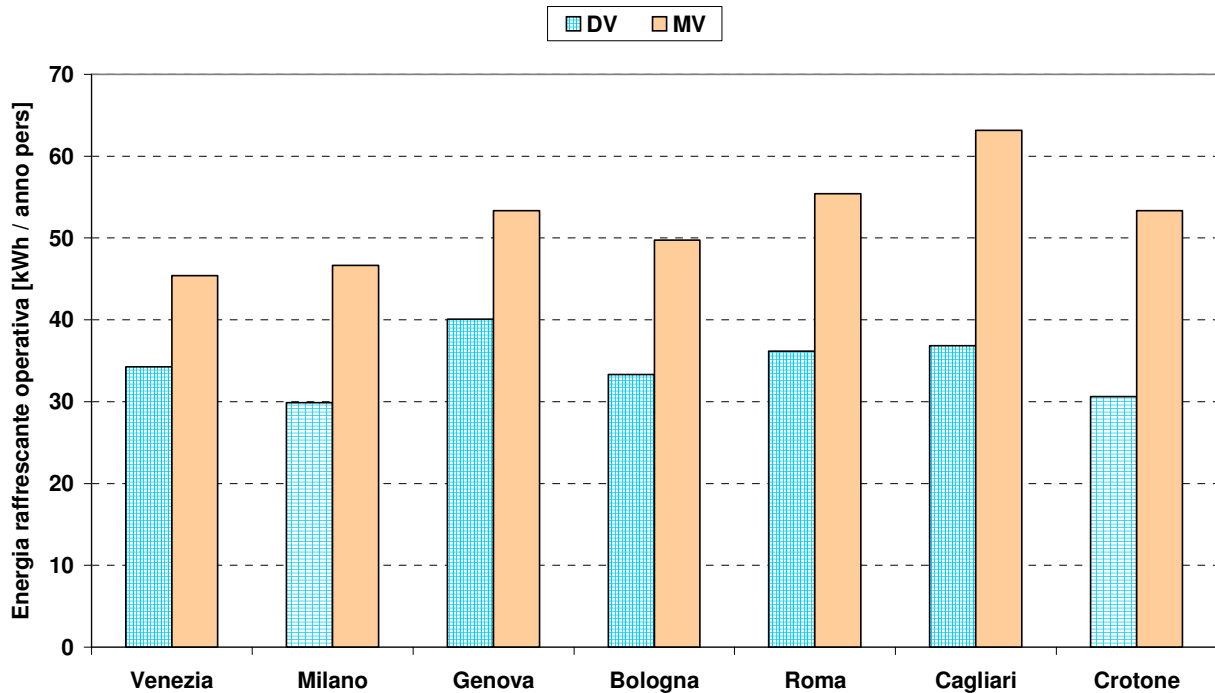


Figura 8 - Energie Raffrescanti Operative (ERO) con DV e MV -
 $T_{\text{occ,rif}} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\dot{V}_{\text{DV}} = 20$ litri/s, $\dot{V}_{\text{MV}} = 11$ litri/s

5. DISCUSSIONE

La ventilazione a dislocamento è, come sancito dal proprio nome, una tecnica di ventilazione: questo quindi è il suo scopo primario, sebbene ad essa possono essere demandati anche compiti di raffrescamento, ma non compiti di riscaldamento. Il principio di funzionamento della ventilazione a dislocamento si basa infatti sull'immissione di aria, a livello del pavimento, a temperatura inferiore a quella ambiente. Lo studio condotto ha quindi riguardato l'esame delle "disponibilità" di aria esterna per il raffrescamento degli ambienti in diverse località italiane rappresentative dell'area mediterranea.

L'analisi effettuata ha permesso di evidenziare una apprezzabile disponibilità di aria esterna a temperature adatte all'adozione di strategie di free cooling, sia con sistemi di ventilazione a dislocamento che a miscelazione. A differenza di quanto spesso indicato nella letteratura tecnica, lo studio condotto ha verificato che il free cooling è applicabile in modo più efficiente con la ventilazione a miscelazione, in termini sia di ore/anno disponibili per il free cooling sia di energia raffrescante, ciò grazie al più ampio intervallo di temperature di immissione dell'aria considerate accettabili, sia pur a fronte di una portata d'aria movimentata minore.

Affinché la ventilazione a dislocamento divenga vincente in termini di possibilità d'impiego del free cooling rispetto alla ventilazione a miscelazione, così come alcuni autori sostengono, è evidente la necessità di adottare dislocatori "ad alta induzione" che movimentano grandi portate d'aria con temperature di immissione paragonabili a quella dei sistemi a miscelazione.

A margine del confronto effettuato, i risultati ottenuti evidenziano come nel clima mediterraneo strategie di raffrescamento ibrido (free cooling integrato con raffrescamento meccanico quando necessario) possono essere adottate con successo in tutte le località esaminate, garantendo quindi una significativa riduzione del numero di ore di funzionamento all'anno dei gruppi frigoriferi e conseguentemente risparmi energetici.

6. BIBLIOGRAFIA

- Brouhs H., Nielsen, P.V., *Personal Exposure in Displacement Ventilated Rooms*, Indoor Air, 1996
- Corgnati, S.P., Filippi, M., Fracastoro, G.V., *Aria di Qualità – Ridurre gli effetti dei contaminanti con i sistemi di ventilazione a dislocamento*, Rivista CDA, Marzo 2003
- Filippi, M., Corgnati, S.P., *Forze Naturali “Motrici” – Principi di funzionamento e progetto della Displacement Ventilation*, Rivista CDA, Febbraio 2003
- Kofoed, P., Nielsen, P.V., *Thermal Plumes in Ventilated Rooms*, Proc. of International Conference of Engineering Aero and Thermodynamics of Ventilated Rooms, ROOMVENT '90, Oslo, 1990
- Mundt, P., *Convection Flows in Rooms with Temperature Gradients – Theory and Measurements*, Proc. of Third International Conference on Air Distribution in Rooms, ROOMVENT '92, Copenhagen, 1992
- Nielsen, P.V., *Displacement Ventilation – Theory and Design*, ISSN 0902-8002 U9306, Aalborg University, 1994
- Nielsen, P.V., *Temperature Distribution in a Displacement Ventilated Room*, Roomvent'96, Vol. 3, Yokohama, 1996
- Skistad, H., *Displacement Ventilation*, Research Studies Press Ltd., Somerset, 1994
- Skistad, H., *Ventilazione a dislocamento in paesi a clima temperato*, CDA, Giugno, 2002
- Skistad, H., Mundt, E., Nielsen, P.V., Hagström, K., Railio, J., *Displacement Ventilation in Non Industrial Premises*, REHVA - Federation of European Heating and Air-conditioning Associations, 2002.
- Xing, H.J., Awbi, H.B., *The Neutral Height in a Room with Displacement Ventilation*, Roomvent2000, Vol. 2, Reading (UK), 2000

DISPLACEMENT VENTILATION IN MEDITERRANEAN COUNTRIES: POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF FREE COOLING

Abstract.

In displacement ventilation, low speed fresh air is supplied directly into the occupied zone at floor level, it moves upward due to buoyancy fed by the thermal plums inside the room and, finally, the air is extracted, warm and contaminated, at ceiling level.

The temperature of the supply air is usually about 4-5 °C higher with displacement than with mixing ventilation: as a consequence, very often, larger free cooling capabilities are assigned to displacement ventilation in comparison to mixing ventilation, leading to a reduction of mechanical cooling and, consequently, to energy savings. Nowadays, this is very important because the needs of cooling are enlarging also to the mid-seasons, especially in Mediterranean countries.

In the present work, the energy saving possibilities by using free cooling with displacement ventilation are examined and the possible limitations are investigated and compared with mixing ventilation, referring to different climatic conditions of the Italian sites.

Keywords: *Displacement ventilation, free cooling, energy savings, Mediterranean area.*