

# Facciata ventilata in laterizio: tecnologia e prestazioni

**La progettazione di una facciata complessa, seppure evoluzione di tecniche tradizionali, non può prescindere dallo studio integrato delle relative problematiche tecnologiche, strutturali e termofisiche e dall'analisi delle caratteristiche dei componenti e del loro processo produttivo**

**A**d oggi sono molti gli studi sui componenti in laterizio da rivestimento ed il panorama produttivo è divenuto molto vasto (tavole, pannelli, lastre, elementi piastra ecc.) in riferimento alle soluzioni tecniche che adottano pareti ventilate. Ciò deriva da un'evoluzione di prodotto e di processo che ha origine da una acquisita conoscenza di tutte le caratteristiche prestazionali del materiale, ed è inoltre connesso alla grande varietà d'uso che esso permette, quindi all'ampia gamma di risposte formali e potenzialità di impiego ed alla sua economicità.

Lo studio della facciata ventilata rivestita con tavole in laterizio, oggetto di questo lavoro, è frutto di una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile, il Dipartimento di Energetica di Firenze e la ditta produttrice del sistema. La ricerca, di cui viene riportata una sintesi, riguarda una parete ventilata prevista per il rivestimento di un edificio destinato ad uso uffici realizzato nella città di Mantova, in fase di progettazione esecutiva della facciata al momento dello studio.

**Caratteristiche e tecnologia del sistema parete** La facciata ventilata in esame è montata su un edificio (di dimensioni complessive in pianta pari a circa m 46,50 per 11,90 e altezza circa m 12), con struttura a telaio in c.a. e muratura di tamponamento in calcestruzzo cellulare espanso, ed è costituita da un pacchetto composto da pannelli isolanti di cm 5 di spessore, staffe, montanti e tavole da rivestimento in laterizio, con un'intercapedine di cm 15.

La scelta del sistema di sottostruttura realizzata con staffe e montanti in acciaio, e quindi dello schema statico conseguente, è condizionata soprattutto dal tipo di struttura del-

l'edificio, dai carichi orizzontali previsti, dalle caratteristiche del rivestimento e dal tipo di fissaggio che questo richiede. Inoltre, grande importanza assume la valutazione delle dilatazioni termiche essendo la facciata ventilata montata su telai metallici. Lo schema statico della sottostruttura del caso in esame, nella quale il passo dei montanti è condizionato dalle dimensioni dell'elemento di rivestimento, si può ricondurre a quello della trave su più appoggi.

*Caratteristiche della tavola da rivestimento* La tavola in laterizio impiegata come rivestimento esterno si deve considerare, soprattutto, come una innovazione d'uso del tradizionale componente orizzontale utilizzato nelle costruzioni correnti che, attraverso alcune modifiche morfologiche, ha reso possibile il suo impiego in posizione verticale ed in particolar modo nel rivestimento della facciata.

La tavola, destinata al montaggio a vista su pareti ventilate, è un tipo di laterizio estruso ottenuto con un sistema di produzione in cui sono previsti trattamenti atti a migliorarne sia l'estetica che la resistenza agli agenti atmosferici. Il suo processo produttivo segue lo stesso iter di quello utilizzato per tutti i tipi di laterizio estrusi che trovano impiego nelle costruzioni o nei rivestimenti faccia a vista. Dopo le tradizionali fasi di estrazione della materia prima (argilla), stagionatura, macinatura, modellazione con filiera e taglio, i prodotti, ancora allo stato "verde", subiscono i processi di trattamento superficiale che conferiscono loro diversificate caratteristiche estetiche, come la rugosità e la sabbiatura. Successivamente le tavole subiscono il processo di essiccazione e cottura in forno a tunnel ed infine vengono sottoposte al trattamento per esterni consistente nell'esposizione



Edificio per uffici a Mantova, rivestito con facciata ventilata in laterizio (progetto: G. Benedini).

al getto di liquidi idrorepellenti a base siliconica che rendono le superfici a vista impermeabili all'acqua meteorica, conservandone la permeabilità al vapore ed evitando la formazione di efflorescenze, muffe e deposito di smog. La tavola, che pesa kg 6, è inoltre alleggerita da forature che attraversano l'elemento in orizzontale da una parte all'altra, mentre la conformazione dei bordi superiore e inferiore, del tipo *maschio-femmina*, è realizzata per permetterne l'incastro in fase di montaggio.

*Caratteristiche della facciata* La sottostruttura della facciata ventilata dell'edificio di Mantova prevede l'assemblaggio in opera di più componenti tesi a realizzare un'intercapedine piuttosto ampia di cm 15; essa è realizzata tramite un sistema a montanti connesso alla struttura principale con staffe e al rivestimento tramite agganci puntuali a scomparsa che permettono la ritenuta e l'appoggio delle tavole grazie alle sagomature realizzate in fase produttiva.

I nodi fra sottostruttura e struttura dell'edificio sono sia di irrigidimento (ancoraggio al tamponamento in calcestruzzo cellulare espanso) che di sostegno (ancoraggio alle solette in cemento armato); sono realizzati nello stesso modo pur variando il tipo di tassello di connessione alla muratura.

I nodi sono costituiti da due staffe angolari distanziatrici ad L in acciaio, dello spessore di mm 5, aventi fori asolati per assorbire i movimenti differenziali dovuti alle variazioni termiche e per la corretta messa in opera.

Le staffe, fissate tra loro per mezzo di bulloni, vengono ancorate tramite tasselli d'acciaio all'estradosso verticale delle solette e alla muratura di calcestruzzo cellulare espanso. In entrambi i casi sono posizionate con passo di mm 510 in orizzontale e sulla muratura di tamponamento presentano un passo di mm 1000 in verticale. Esse permettono, tramite saldatura, il fissaggio del montante, costituito da un profilo in acciaio tubolare di mm 40x20, con scanalatura verticale e profili verticali a giraffa muniti di guarnizioni in gomma,

realizzati in acciaio zincato e saldati al montante stesso, che preservano da eventuali infiltrazioni di acqua, convogliata attraverso le fughe verso il basso e quindi all'esterno.

Le staffe che sostengono e trattengono il rivestimento sono in acciaio inox e vengono posizionate in corrispondenza ed in asse all'incrocio delle fughe orizzontali (mm 10) e verticali (mm 8) risultanti dall'accostamento delle tavole; ognuna di esse trattiene le due tavole inferiori e sorregge le due superiori. L'aggancio si ottiene inserendo la staffa, sagomata come i bordi inferiore e superiore della tavola, nell'incastro *maschio-femmina* che si realizza. Per una maggiore stabilità viene inserito anche un piccolo elemento in gomma nell'interfaccia acciaio-laterizio che ha, inoltre, il compito di eliminare vibrazioni e attriti che potrebbero rivelarsi pericolosi per possibili scheggiature della tavola. Per le fughe d'angolo viene inserita una guarnizione di protezione e antivibrazione.

Le griglie di ventilazione sono poste alla base ed in sommità dell'edificio, in corrispondenza dei davanzali e sopra gli architravi delle aperture. La parte superiore dell'edificio è completata con scossaline per proteggere l'intercapedine dalla pioggia; in corrispondenza delle griglie d'aerazione, infine, è prevista una rete microforata protettiva anti-insetto e guarnizione termoespandente di tenuta al fuoco.

*Fasi di montaggio* La sequenza di montaggio prevede, in primo luogo, il tracciamento e la conseguente localizzazione, mediante dispositivi a laser, dei punti di ancoraggio destinati al posizionamento dei tasselli. Vengono quindi ancorate le staffe al supporto murario operando una correzione del fuori piombo mediante spessori inseriti tra il muro e le staffe stesse. La regolazione degli assi X-Y avviene durante l'unione della seconda staffa alla prima grazie alle asolature di cui esse sono dotate. Il passaggio successivo è quello del fissaggio dei profili verticali che avviene mediante saldatura.

Il posizionamento e fissaggio delle tavelle, mediante apposite staffe, avviene dal basso, poggiando la prima fila su un supporto in legno e proseguendo la posa per quattro file verso l'alto prima di verificare l'allineamento.

**Analisi strutturale del nodo tipo** Come specificato, i nodi della facciata ventilata sono costituiti dall'assemblaggio di più componenti; a tale riguardo è stata analizzata una configurazione di base, prevista per zone che non presentino aperture, angoli esterni o interni ed altre particolari conformazioni.

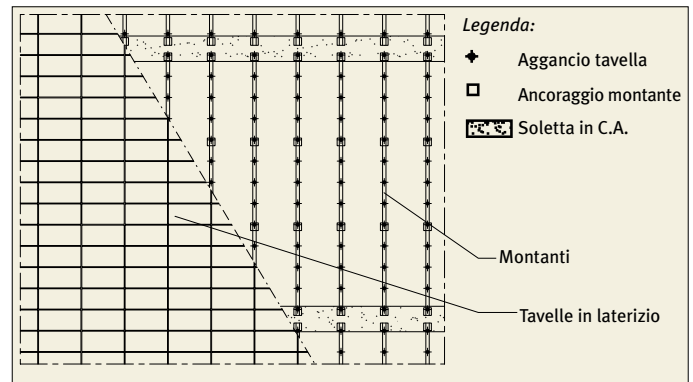
L'analisi strutturale di tale configurazione è stata effettuata per ogni componente, avendo prima individuato le azioni responsabili della variazione di sollecitazione, la cui combinazione più pericolosa è costituita dalla concomitanza del carico verticale (peso proprio) e del carico orizzontale (azione del vento, secondo il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996).

**Analisi dello stato di tensione della tavella in laterizio** Lo studio delle sollecitazioni e tensioni del rivestimento esterno è stato condotto utilizzando il programma SAAP2000 che ha elaborato i dati agli elementi finiti in campo lineare, ipotizzando un comportamento sia a lastra che a piastra.

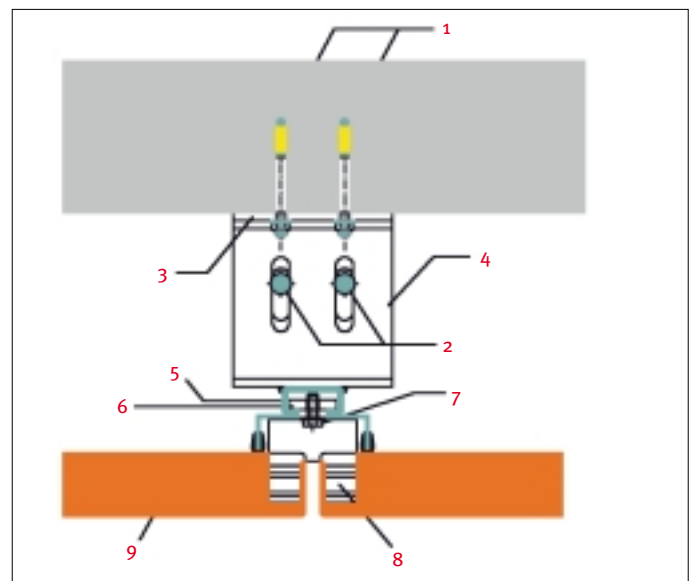
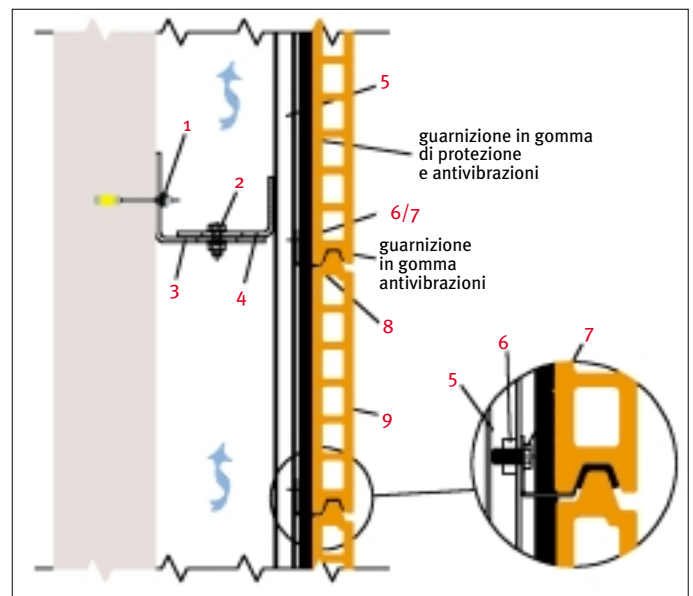
L'aggancio delle tavelle, realizzato per mezzo di staffe in prossimità dei quattro angoli, permette il sostegno dell'elemento superiore e il fissaggio di quello inferiore, consentendo comunque anche i movimenti dovuti a variazioni termiche.

Tale configurazione è stata schematizzata con vincoli costituiti da coppie di due cerniere posizionate ognuna sulla mezzeria dei settori orizzontali inferiore e superiore del modello, con una luce massima pari alla lunghezza dei settori stessi. Ai fini dell'elaborazione si è previsto un carico unitario esploratore con l'obiettivo di fornire un risultato teorico generale, ottenendo così uno strumento che consente la possibilità di ricondursi a qualsiasi valore dell'azione del vento.

L'elemento analizzato è caratterizzato da una simmetria geometrica nelle tre direzioni X, Y e Z; tale caratteristica emerge anche dall'analisi delle sollecitazioni permettendo quindi una semplificazione nell'individuare quelle più gravose. Dalle caratteristiche fisico-tecniche del materiale di rivestimento deriva una resistenza a trazione molto inferiore rispetto a quella a compressione; la ricerca delle massime tensioni è stata dunque condotta sulle fibre tese della tavella. Tali tensioni raggiungono dei valori molto bassi garantendo una verifica ampiamente soddisfatta. Sono state analizzate le sollecitazioni più significative, riscontrate sulle facce verticali e sui settori orizzontali superiore e inferiore, attorno agli assi locali di ogni *shell* X e Y, dovute a momenti e sforzi normali lungo gli stessi assi, ottenendo le relative tensioni.

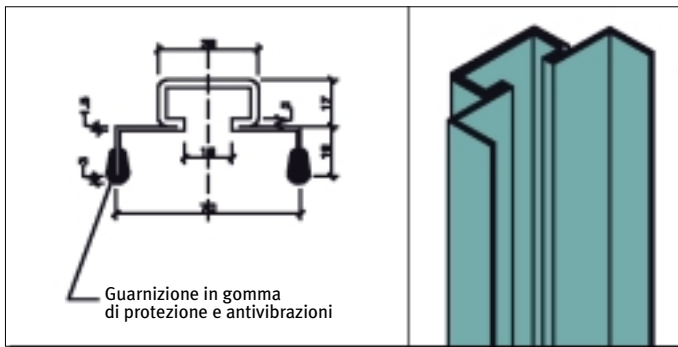


Posizionamento dei montanti, degli ancoraggi e degli agganci del rivestimento.



Sezioni del nodo tipo (configurazione di base): sezione verticale e orizzontale.

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Legenda:</b>           | 5. montante   |
| 1. tassello di ancoraggio | 6/7. piastrina di aggancio al montante e relativo bullone |
| 2. bullone di giunzione   | 8. staffa di aggancio tavella                             |
| 3. staffa angolare        | 9. tavella in laterizio                                   |
| 4. staffa angolare        |   |

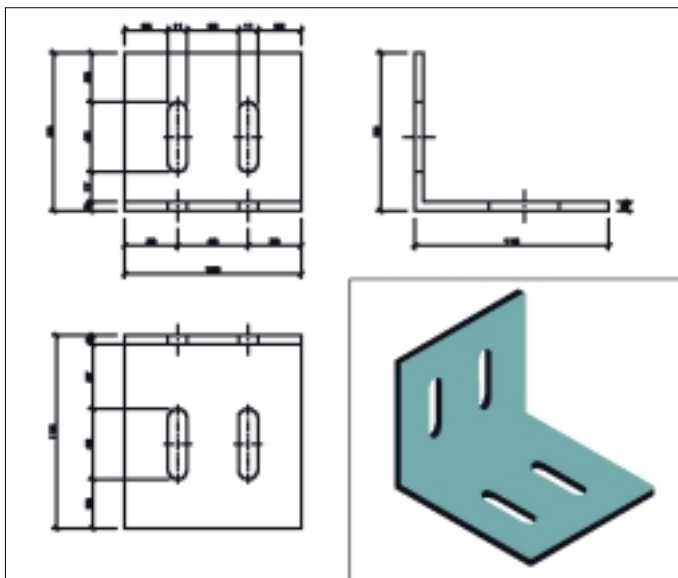


Guarnizione in gomma di protezione e antivibrazioni

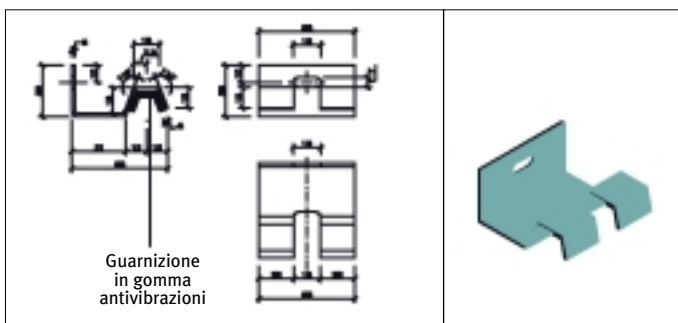
Piastrina di aggancio al montante e relativo bullone.

	<p>Piastrina filettata          Tipo: GWP 28/15          Materiale: acciaio zincato          Dimensioni: a = 30.5 mm          b = 17.5 mm          c = 7.0 mm          d = 6.5 mm</p>	
	<p>Bullone di aggancio a brugola          Tipo: M6x15</p>	<p>Materiale: acciaio          Dimensioni: L = 15 mm</p>

Montante.



Staffa di aggancio tavella.



Guarnizione in gomma antivibrazioni

Staffa angolare.

**Analisi dello stato di tensione della sottostruttura** L'analisi dello stato di tensione della sottostruttura ha previsto lo studio del comportamento statico di ogni suo componente sotto l'azione del carico orizzontale, sia in fase di pressione che di depressione, e del carico verticale previsto; ciò ha permesso di individuare i punti deboli di ogni elemento e valutarne il relativo stato tensionale.

L'azione del vento agisce sulla tavella di rivestimento (dimensioni cm 50x25) che trasferisce il carico mediante forze orizzontali  $H_1$  calcolate considerando una luce pari all'altezza della tavella (cm 50).

Tali reazioni agiscono poi sul montante il quale trasferisce nuovamente l'azione ai componenti retrostanti mediante le forze  $R_2$ . L'azione negativa del vento risulta ovviamente la situazione più gravosa per tutti i componenti del sistema, con la quale sono state quindi condotte le verifiche, riscontrando infatti sollecitazioni maggiori rispetto al caso del vento in pressione a parità di carico verticale. Si è valutato la variazione di tensione all'aumentare del carico orizzontale in modo tale da individuare il componente responsabile del collasso dell'intera struttura.

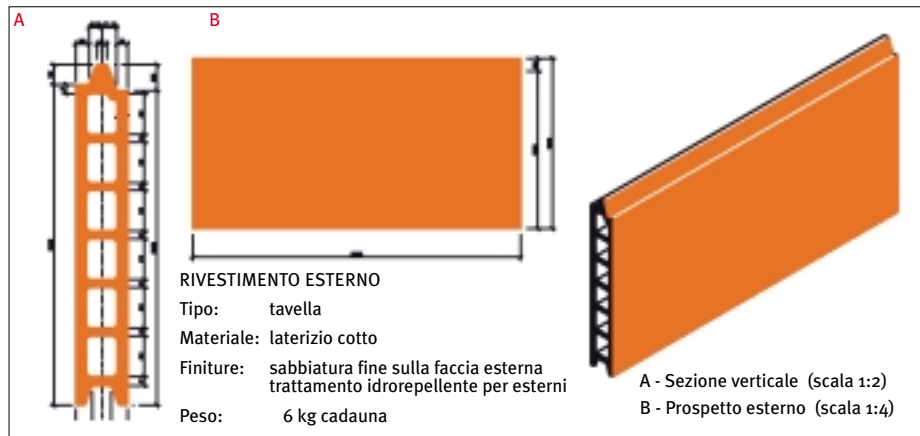
La staffa distanziatrice a contatto con la muratura, sollecitata principalmente a flessione, risulta il reale punto debole di tutto il sistema, poiché raggiunge per prima il valore della tensione ammissibile, in corrispondenza di un carico orizzontale pari a  $87 \text{ kg/m}^2$ .

I risultati ottenuti dall'analisi strutturale, insieme ad un attento studio delle norme relative all'azione del vento, hanno permesso di determinare il campo di applicabilità della configurazione di base della facciata ventilata e la realizzazione di abachi di progetto secondo le varie categorie di esposizione. È stato possibile, quindi, individuare l'altezza massima di applicabilità, al variare dell'azione del vento secondo il coefficiente di esposizione, in funzione dell'altezza della costruzione, in riferimento ad una pressione cinetica fissata (data la specificità della struttura considerata, per il calcolo dei coefficienti di pressione è stato utilizzato come norma di riferimento l'Eurocodice 1 - "Azioni del vento" App. A - per il quale, in relazione alle tre dimensioni dell'edificio, si ottengono valori diversi del coefficiente di pressione per diverse zone della facciata dell'edificio stesso, risultando più esposte le zone in alto e nelle vicinanze degli angoli).

La facciata ventilata applicata nella zona di Mantova è sottoposta ad una pressione cinetica di  $40 \text{ kg/m}^2$  in categoria V; per un coefficiente di pressione pari a 1 si possono rivestire costruzioni fino ad un'altezza massima di 31 m senza incorrere in problemi di instabilità strutturale, mentre per un coefficiente di pressione pari a 1,3 si arriva fino ad un'altezza massima di 16 m.

L'edificio per uffici analizzato presenta un'altezza pari a 12 m per la quale, dunque, si ha un ampio margine di applicabilità della facciata.

Tavella in laterizio.

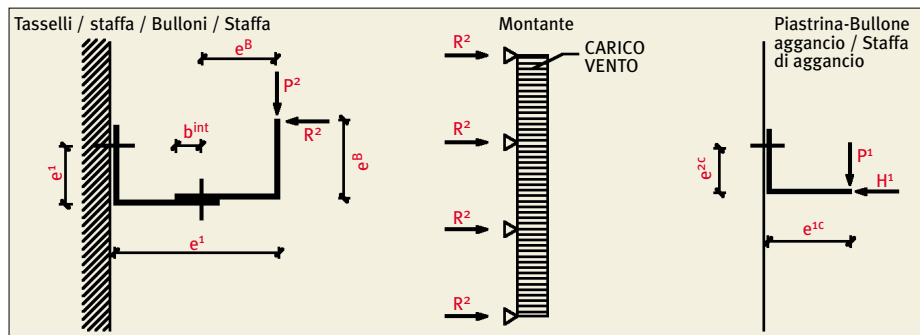


Schematizzazione del nodo tipo e trasmissione delle azioni dovute al carico verticale e orizzontale. Quest'ultimo è responsabile della variazione di tensione degli elementi del sistema in quanto quello verticale ha un valore costante.

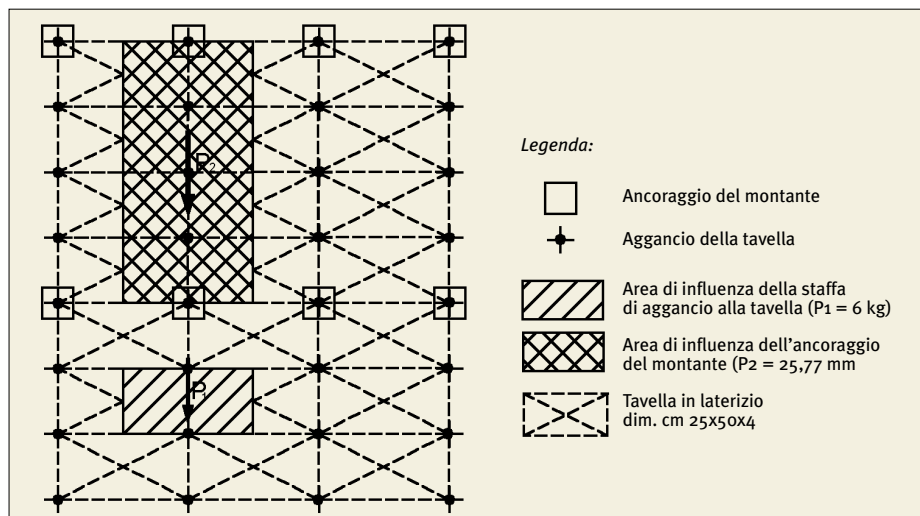
Legenda:

$e^{1c} = 55$  mm  
 $e^{2c} = 20$  mm  
 $b^{int} = 30.25$  mm  
 $e^1 = 145$  mm  
 $e^B = 69,5$  mm  
 $P^1 = 6$  kg

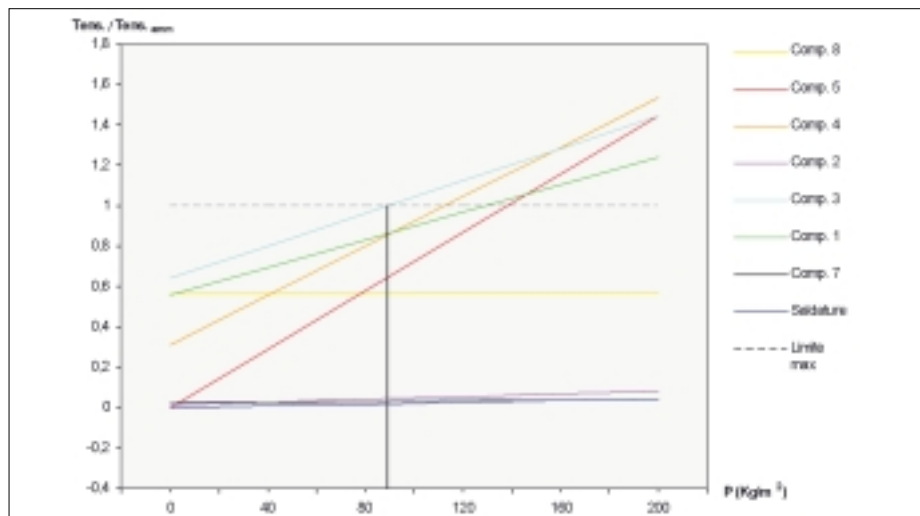
$e^T = 42$  mm  
 $e^{2B} = 69,5$  mm  
 $P^2 = 25,77$  kg  
 P = carico verticale costante  
 Q = carico orizzontale variabile con l'azione del vento



Area di influenza del carico verticale dovuto al peso proprio delle tavelle. Tale azione è costituita dal peso proprio dei materiali utilizzati; il peso delle tavelle viene valutato diversamente a seconda che agisca sulla staffa di aggancio o sull'ancoraggio del montante, secondo la relativa area di influenza.



Caricabilità orizzontale degli elementi costituenti il nodo tipo: variazione di tensione di tutti i componenti al variare del carico orizzontale in depressione. Carico orizzontale massimo sopportabile dalla struttura in corrispondenza del valore unitario del rapporto delle tensioni.



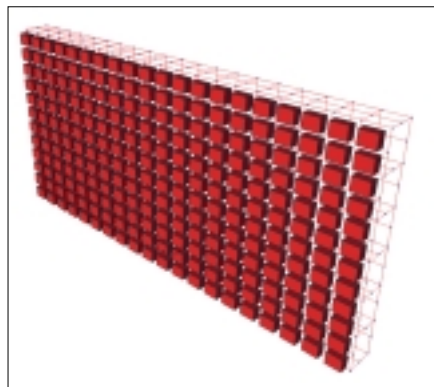
### Modello per la valutazione delle prestazioni termofisiche della parete ventilata

Lo studio del comportamento termofisico di una parete ventilata comporta la considerazione degli scambi di massa e di energia per mezzo di un opportuno programma di simulazione in condizioni di regime transitorio i cui risultati vanno confrontati con quelli ottenuti sperimentalmente. Ciò, dunque, implica la realizzazione di un apparato strumentale di misura ed un sistema di monitoraggio della parete per periodi di tempo non brevi. Molti sono gli studi sul funzionamento in regime invernale ed estivo di diverse tipologie di pareti ventilate, ma la maggior parte di essi sono condotti in regime stazionario e solo alcuni considerano il comportamento termodinamico in regime periodico transitorio [3,4,5,6].

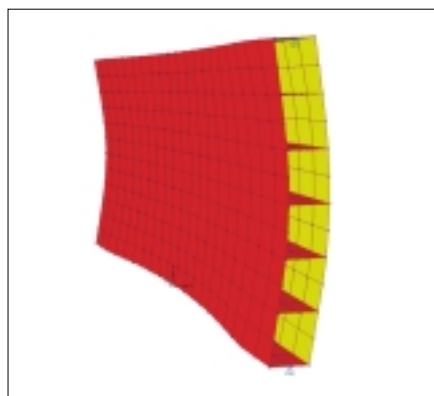
In questo lavoro è stato definito un semplice modello per valutare il comportamento termofisico della facciata ventilata installata nell'edificio ad uso uffici della città di Mantova. È stato implementato un programma di calcolo utile a fornire una valutazione complessiva del comportamento termofisico della struttura studiata.

Assumendo condizioni di regime stazionario, sono stati considerati tutti i parametri dovuti al bilancio energetico comprendendo anche il termine legato al flusso dell'aria nell'intercapedine. La portata di aria e le condizioni termoigrometriche del sistema dipendono, oltre che dalla tecnologia adottata, anche dalle condizioni climatiche locali: temperatura ed umidità relativa dell'aria, irraggiamento solare, velocità del vento. Infatti la ventilazione naturale all'interno di una cavità, per effetto camino, è il risultato dell'interazione della gravità con le differenze di densità dell'aria connesse alle variazioni di temperatura e di pressione e, quindi, della portata in massa d'aria fluente nell'intercapedine stessa. Il bilancio di primo principio in condizioni stazionarie comporta la risoluzione di un sistema di quattro equazioni definite attraverso lo scambio termico per irraggiamento: tra i due elementi, paramento esterno in tavelle di laterizio e il muro retrostante in calcestruzzo cellulare isolato sul lato esterno verso l'intercapedine; tra la superficie esterna del paramento con l'ambiente esterno (gli scambi per convezione tra la tavelle e l'ambiente esterno, per convezione all'interno dell'intercapedine tra le superfici che la delimitano e l'aria); infine occorre calcolare gli scambi di calore per conduzione tenendo conto della resistenza complessiva della parete che separa l'ambiente interno dall'intercapedine ventilata. Viene, inoltre, considerato, fra i termini del bilancio, il guadagno termico dovuto alla radiazione solare incidente sulla tavella in funzione di un fattore medio di assorbimento emisferico, fornito in letteratura [10]. Il flusso termico scambiato per convezione tra l'aria e le superfici delimitanti l'intercapedine viene calcolato con la relazione [7]:

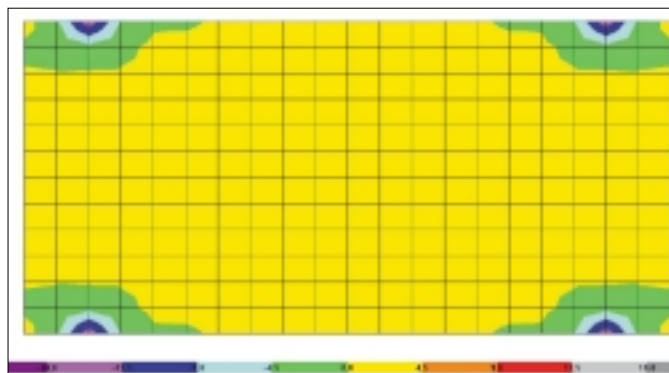
$$Q = S \frac{h}{c_{pa}} (J_p - J_a)$$



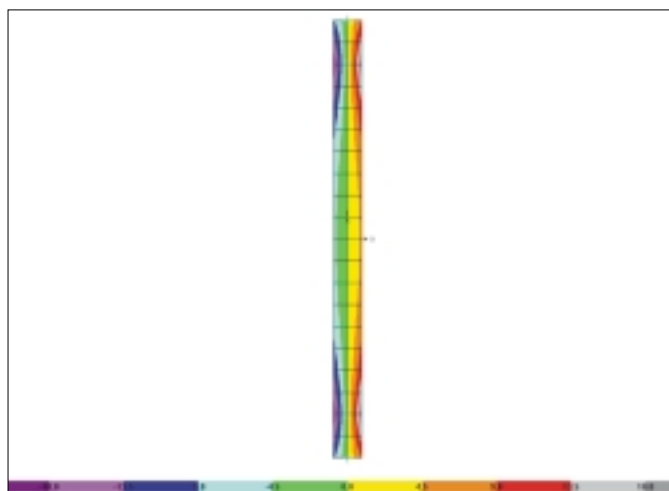
Azione di carico sull'elemento in laterizio: azione orizzontale del vento (la norma vigente non prevede la combinazione con l'azione dovuta alle forze sismiche).



Deformazione della tavella indotta dal carico uniforme.

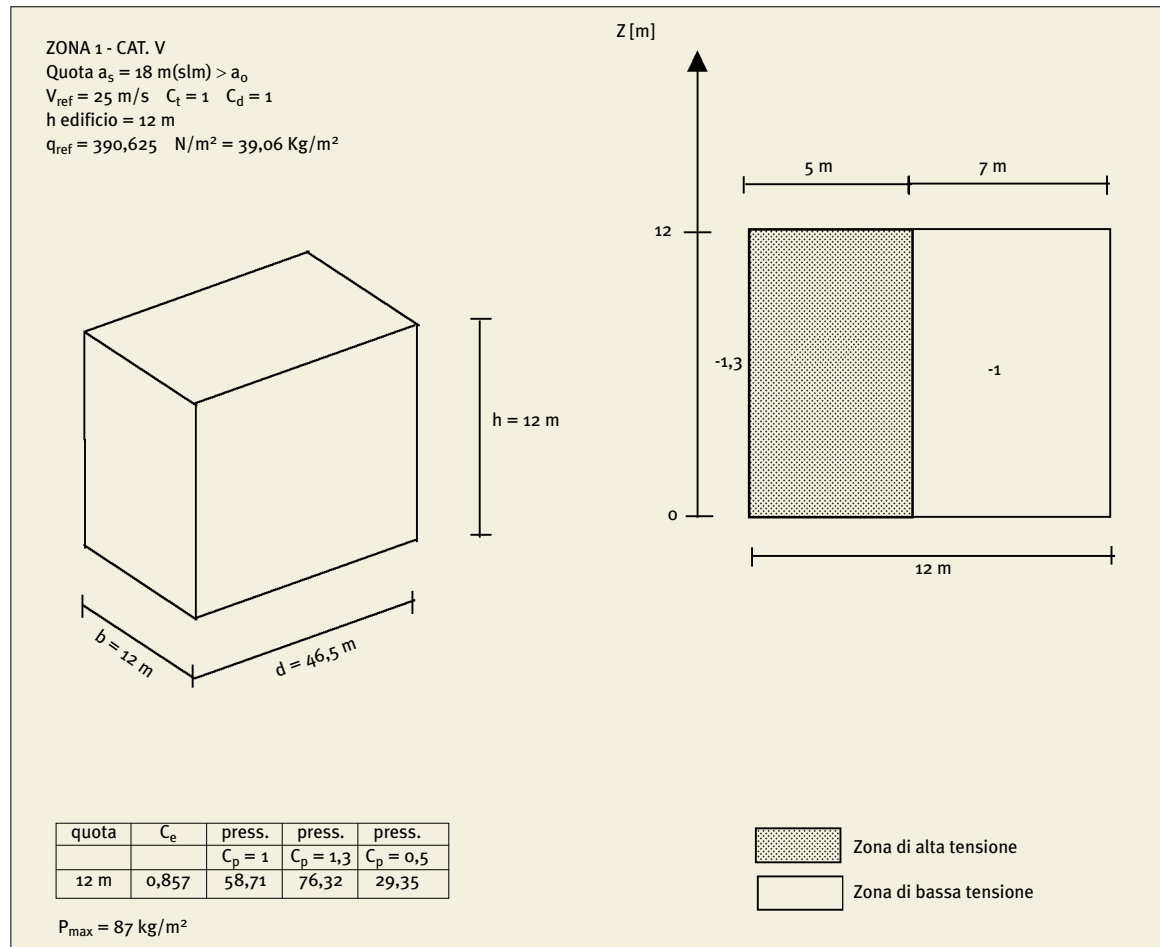


Sollecitazioni di momento flettente  $M_{xx}$  sulla facciata esterna  $F_E$ .



Sollecitazione di momento flettente  $M_{xx}$  sul settore superiore  $S_1$ .

Individuazione dei coefficienti di pressione secondo l'Eurocodice 1. La facciata ventilata analizzata risulta largamente verificata in ogni zona dell'edificio anche se sottoposta a due diverse azioni del vento relative a coefficienti di pressione diversi.



dove il coefficiente di convezione  $h$  che compare nella formula è lo stesso che si userebbe per scambio termico secco, senza condensa. L'entalpia dell'aria umida viene considerata forza motrice dello scambio combinato di calore sensibile e latente ( $J_p$  rappresenta l'entalpia dell'aria alla temperatura di parete), ricordando che l'entalpia specifica dell'aria ( $\text{kJ/kg}_a$ ) è calcolata come segue [11,12]:

$$J = c_{pa} t + x (r + c_{pv} t) = t + x (250l + 1,88t)$$

$$\text{dove: } x = \frac{0,62 \rho_v}{(\rho - \rho_v)}$$

rappresenta l'umidità specifica ( $\text{kg/kg}_a$ ),  $p$  la pressione totale e  $p_v$  la pressione parziale del vapor d'acqua.

In riferimento alla condizione dell'aria con l'umidità relativa

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{sa}}$$

dove  $\rho_{sa}$  è la pressione di saturazione del vapore alla temperatura della miscela, la relazione utilizzata per il calcolo della pressione di saturazione è quella fornita dall'ASHRAE [1]. D'altra parte l'umidità specifica dell'aria è connessa alla pressione di saturazione in funzione dell'umidità relativa:

$$x = 0,622 \varphi \frac{\rho_s}{\rho - \varphi \rho_s}$$

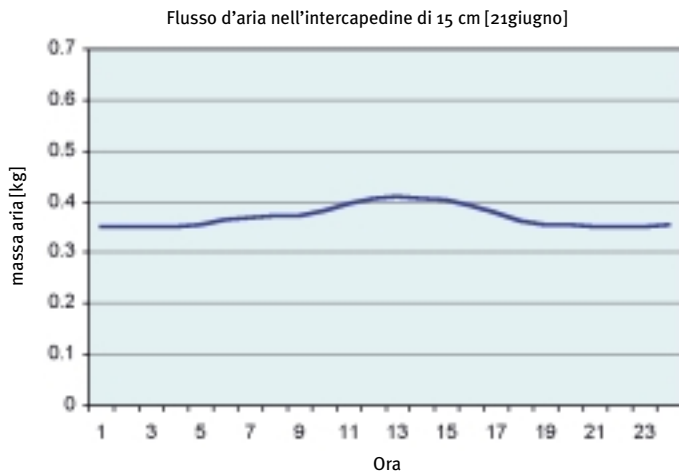
Ai termini dovuti al bilancio energetico va aggiunto anche il termine dovuto al bilancio di massa dell'aria, valutato con  $G = \rho w S$ , dove  $w$  è la velocità dell'aria. Quest'ultima è stata calcolata per mezzo della relazione valida in caso di tiraggio naturale in un sistema aperto, come quello studiato, del tipo camino, considerando una rugosità del paramento pari ad 1,5 [11]:

$$w^2 = 2gH \frac{\left(\frac{T_A}{T_e} - 1\right)}{\left(\frac{\lambda_L}{D} + 2,5\right)}$$

con  $T_A$  temperatura dell'aria nell'intercapedine,  $T_e$  temperatura media dell'aria esterna, espresse in  $^\circ\text{C}$ , e  $\lambda$  fattore di attrito calcolato con la relazione di Moody [8]:

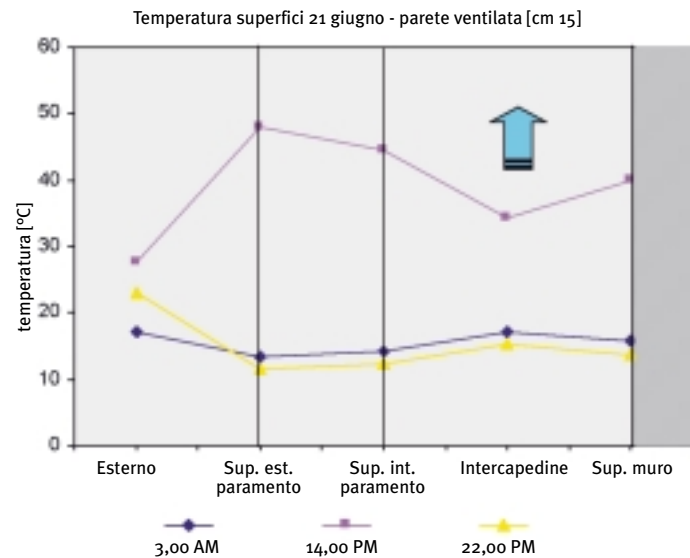
$$\lambda = 0,0055 \left[ 1 + \left( 2 \times 10^4 \frac{\varepsilon}{D} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

I coefficienti di convezione, esterno ed interno, sono stati calcolati utilizzando le relazioni suggerite in letteratura [9,11,12] per pareti verticali a temperatura uniforme e valide per ampiezza maggiore dell'altezza: se la velocità del vento è minore di 4 m/s il coefficiente di convezione esterno, in-



Variazione di massa nell'intercapedine

Variazione di temperatura sulle diverse superfici degli elementi.



dicando con  $\gamma_a$  la conducibilità dell'aria, è calcolato con:

$$h_e = \frac{Nu \times \gamma_a}{L}$$

altrimenti viene utilizzata la relazione di McAdams<sup>[9]</sup> in funzione della velocità media del vento

$$v_v: h_e = 5,7 + 3,8 \times v_v$$

La conducibilità dell'aria è stata valutata in funzione dei dati climatici utilizzando la relazione fornita dall'ASHRAE. Quando il valore del numero di Reynolds  $Re > 2500$ , il regime di moto dell'aria all'interno dell'intercapedine è turbolento e, riferendosi alla conducibilità dell'aria interna valutata con la temperatura media dell'aria all'interno dell'intercapedine  $T_A$ , si ha:

$$h_i = \frac{Nu_i \times \gamma_i}{D}$$

In tutti gli altri casi, per il calcolo del coefficiente di convezione interno viene assunto un valore per il numero di Nusselt pari a 4. Il valore della temperatura dell'ambiente interno, al fine di garantire condizioni di comfort, è stato considerato pari a 20°C in inverno<sup>[13,14]</sup>, mentre in estate, per tenere conto delle variazioni della temperatura esterna che incidono in maniera più pesante sul bilancio, viene preso come valore della temperatura dell'ambiente interno quello corrispondente alla media  $(t_e + 22^\circ\text{C})/2$ .

È stato inoltre calcolato il gradiente entalpico del sistema e verificata l'eventuale formazione di condensa.

Il programma che per via iterativa risolve il sistema di equazioni derivate dal bilancio di energia e di massa ha permesso di conoscere:

- l'andamento e distribuzione della temperatura del sistema aperto parete ventilata, delle superfici esterna ed interna del paramento, dell'aria all'interno dell'intercapedine, della superficie del muro rivolta verso l'intercapedine;
- la quantità in massa di aria entrante ed uscente dall'inter-

capedine, sue condizioni igrometriche e velocità dell'aria all'interno dell'intercapedine;

- il flusso termico entrante ed uscente nell'ambiente interno dell'edificio e quindi la quantità di calore sottratta dalla massa d'aria fluente nell'intercapedine ventilata.

In regime estivo la parete ventilata è completamente aperta per sfruttare l'effetto camino.

### Considerazioni conclusive

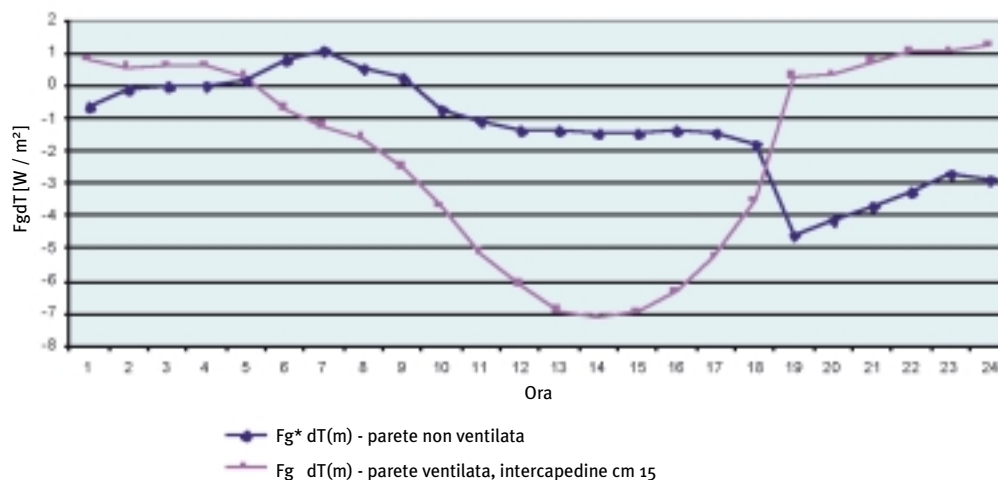
#### Flusso d'aria e temperatura media dell'aria nell'intercapedine

In generale nell'intercapedine più ampia circola più aria; ciò comporta una contemporaneità fra l'aumento del flusso di aria e l'aumento del flusso termico dovuto alla radiazione solare. Infatti un aumento dell'intensità della radiazione solare incidente sul paramento esterno nelle ore più calde del 21 giugno (dalle 10,00 alle 18,00) comporta il riscaldamento dell'aria nell'intercapedine che diventa meno densa e tende a salire e richiama aria fredda dal basso (effetto camino). Anche la temperatura dell'aria dentro la cavità è più alta se la cavità è più stretta e questo effetto, ad esempio per un paramento esterno in vetro, comporta un maggiore effetto serra.

#### Temperatura del paramento di rivestimento

Con l'aumento della radiazione solare, che assume valori più alti nelle ore centrali della giornata, la temperatura della superficie esterna della tavola ( $T_{pe}$ ) cresce e risulta mediamente maggiore della temperatura esterna dell'aria ( $T_e$ ). La temperatura ( $T_{pi}$ ) della superficie interna della tavola cresce in corrispondenza all'aumento della radiazione solare e quindi della temperatura esterna, rivelando valori minori rispetto alla temperatura della superficie esterna ( $T_{pe}$ ) nelle ore più calde; questa diminuzione risulta più consistente mano a mano che aumenta l'intensità della radiazione so-

Contributo termico - 21 giugno



Contributo termico con e senza facciata ventilata.

lare. Infatti, mentre nelle prime ore del mattino e nelle ore serali la temperatura superficiale interna della tavella è più alta di quella superficiale esterna, e comunque più bassa di quella media dell'aria nell'intercapedine, nelle ore centrali del giorno la tendenza si inverte. Si conclude che la temperatura della superficie interna della tavella si riduce in corrispondenza all'aumento della temperatura dell'aria esterna, della radiazione solare incidente e contemporaneamente alla riduzione del valore della temperatura media dell'aria nell'intercapedine ( $T_A$ ).

#### Temperatura del muro

Nelle prime ed ultime ore del giorno la temperatura dell'aria nell'intercapedine subisce una diminuzione. La temperatura sulla superficie del muro rivolta verso l'intercapedine ( $T_M$ ) risulta minore rispetto a quella media dell'aria nella cavità. Nelle ore più calde, quando la radiazione solare e la temperatura dell'aria esterna sono molto alte, aumenta anche la temperatura superficiale del muro, tuttavia con valori sempre più bassi di quelli della temperatura della superficie della tavella sia sull'interno (verso l'intercapedine) che sull'esterno.

#### Flusso di calore verso l'ambiente interno dell'edificio

In relazione alle condizioni dell'ambiente esterno, il flusso entrante nel caso di una parete non ventilata risulta, in corrispondenza dell'aumento dell'irraggiamento e della temperatura esterna, crescente; ciò comporta naturalmente condizioni di disagio nei locali soprattutto se si tiene conto degli apporti termici gratuiti dovuti alla destinazione d'uso, al numero di occupanti per tipo di attività ed al profilo temporale di utilizzo.

Nel caso di parete ventilata, si riscontra una considerevole riduzione del flusso termico medio entrante. ¶

#### Riferimenti bibliografici

1. ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE, Atlanta USA, 1997.
2. Balocco C., Grazzini G., *Controllo della radiazione solare. L'utilizzo delle caratteristiche di trasparenza del vetro*, Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, CDA, anno XLIII, n.7 luglio 1999, pp. 637-642.
3. Bartoli C., Ciampi M., Tuoni G., *Periodic heat flow through ventilated walls: the influence of air-space position upon room temperature*, Proceedings of the Third International Thermal Energy & Environment Congress, ITEEC, Marrakesh, Marocco, 1997, 10, pp. 89-95.
4. Bartoli C., Ciampi M., Tuoni G., *Ventilated walls: air-space positioning and energy performance*, Proceedings of the Third International Thermal Energy & Environment Congress, ITEEC, Marrakesh, Marocco, 1997, vol. II, pp. 528-527.
5. Ciampi M., Tuoni G., *Sul comportamento delle pareti ventilate in regime periodico*, La Termotecnica, 1998, 11, pp.77-87.
6. Ciampi M., Tuoni G., *Sulle prestazioni energetiche delle pareti ventilate*, La Termotecnica, 1995, 3, pp. 75-85.
7. Fornasieri E., *Sull'efficienza termica di superfici estese impiegate nel raffreddamento*, Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, maggio 1986, pp. 413-421.
8. Haaland S.E., *Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow*, J.Fluids Eng., 1983, n. 105, pp. 89-90.
9. Holman P.J., *Heat Transfer*, McGraw-Hill, 1991.
10. Raznjevic K., *Tabelle termodinamiche*, Del Bianco Editore, 1971.
11. Rohsenow W.M., Hartnett J.P., Ganic E.N., *Handbook of heat transfer fundamentals*, McGraw-Hill, New York, 1985.
12. Rohsenow Warren M., Harnett James P., Cho Young I., *Handbook of Heat Transfer*, Third Edition, Mc Graw Hill Handbooks, New York 1998.
13. UNI 10344 - *Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia*. CTI, novembre 1993.
14. UNI 7357-74 - *Calcolo per il fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici*.

Si ringraziano per la disponibilità, la collaborazione e per il materiale fornito tutti coloro che hanno contribuito alla ricerca, in particolare la RDB, l'Arch. G. Benedini, l'Arch. G. Bernori, il Sig. G. Poggi e il Sig. U. Balzari.

#### Note

1. Carla Balocco ha redatto il paragrafo "Modello per la valutazione delle prestazioni termofisiche della parete ventilata", Frida Bazzocchi e Primerose Nistri i paragrafi "Caratteristiche e tecnologia del sistema parete" e "Analisi strutturale del nodo tipo".