

RAFFRESCAMENTO PASSIVO IN COPERTURA: NUOVE ACQUISIZIONI SPERIMENTALI

Giovanni Zannoni (*), Claudio Pellanda (**)

(*) DCA Università IUAV di Venezia, S. Croce 191, 30135 Venezia, zannoni@iuav.it

(**) DCA Università IUAV di Venezia, S. Croce 191, 30135 Venezia, pellanda@iuav.it

Abstract

Nell'estate del 1999 è stata condotta una ricerca sperimentale su copertura in scala reale e in ambiente reale con l'obiettivo di indagare gli effetti indotti nel flusso energetico entrante in un edificio a seguito di modificazioni geometrico-dimensionali delle bocche di ingresso e di uscita dell'aria nelle intercapedini di ventilazione sottomanto.

La copertura in questione era del tipo a due falde inclinate con manto in tegole di cemento, con esposizione delle falde a sud e a nord. La collocazione scelta è stata la campagna in zona Mirano (VE), in un sito pianeggiante con presenza di vegetazione arbustiva di basso fusto.

Sono state testate modifiche sulla linee di gronda e di colmo sia per soluzioni conformi alla pratica costruttiva che per situazioni proponibili solo sperimentalmente. Le prove hanno permesso di acquisire i necessari dati ambientali e, sulla copertura, la temperatura all'estradosso e all'intradosso del manto, sulla superficie inferiore delle intercapedini di ventilazione e all'intradosso del pacchetto di copertura in vari punti. Sono state inoltre rilevate le temperature e velocità dell'aria nella sezione delle camere ventilanti di prova. Per alcune prove si è provveduto anche alla videoregistrazione del comportamento dell'aria di ventilazione opportunamente miscelata con sostanze gassose traccianti.

Questa ricerca prosegue l'indagine di una analoga ricerca sui contributi termoigrometrici della ventilazione sottomanto svolta l'anno precedente. Alcuni dei risultati emersi sono stati pubblicati nel n.261-2000 della rivista Modulo, editrice Be-Ma, Milano.

Keywords

Tetti, ventilazione, coperture, efficienza, raffrescamento

Introduzione

Alcune ricerche condotte attorno al sistema tecnologico del tetto ventilato negli ultimi anni hanno indagato lo spessore ottimale dello strato di ventilazione sottomanto in coperture a falde, individuando come opportuni valori non inferiori a 7 cm (1). Altre indagini sperimentali hanno evidenziato come anche tra 0 e 7 cm al crescere dello spessore delle intercapedini non corrispondano sempre incrementi della portata di ventilazione (2). Dal confronto dei dati è possibile dedurre esistano altri fattori influenzanti il tiraggio naturale sottomanto. Si è ritenuto interessante indagare l'influenza della conformazione terminale dei condotti di ventilazione al colmo, soggetti a restringimenti per garantire i requisiti di impermeabilità e antiinvasione, sull'efficienza di raffrescamento passivo della convezione naturale. Poiché dopo aver sottratto calore all'intradosso del manto nella prima parte del suo cammino l'aria può cederne al pacchetto di copertura nel rimanente percorso in intercapedine, essa deve defluire all'esterno il più rapidamente possibile.

La ricerca

Il funzionamento efficace del tiraggio naturale, o effetto camino, è affidato a diverse variabili, tra le quali vi sono la dimensione e la geometria in ogni punto del condotto. Il progetto della presente ricerca è nato con la volontà di indagare queste due fondamentali variabili in una zona circoscritta del tetto: la linea di colmo. Tuttavia, essendo l'indagine rivolta alla conoscenza dei meccanismi che regolano il deflusso del fluido ventilante dall'intercapedine, si è voluta includere nel progetto anche l'analisi dell'effetto della posa in opera di elementi come le tegole ventilanti che, dislocabili in tutta la superficie del manto, possono migliorare o disturbare la ventilazione.

Le diverse prove sperimentali hanno indagato l'influsso di:

- dimensioni dell'uscita dell'aria in colmo
- combinazioni di diversi dispositivi di deflusso d'aria
- geometrie degli elementi di colmo
- regimi di confluenza sottocolmo o meno dei flussi ventilanti le due falde
- dimensioni dell'ingresso d'aria in gronda

- elementi di sottocolmo in commercio.

Si sono infine condotte riprese video del comportamento del fluido di raffrescamento sottomanto al suo arrivo nello spazio di sottocolmo, sino all'uscita in atmosfera, con l'ausilio di gas traccianti.

La progettazione e realizzazione della copertura sperimentale

La copertura sperimentale è stata realizzata in aperta campagna a Mirano (VE – lat.45°25') con due falde di 7 m di lunghezza e 4 di larghezza, esposte a sud e nord con pendenza del 35%.

Come manto di copertura si sono scelte tegole in calcestruzzo, data la loro caratteristica perfezione geometrica, particolarmente adatta a limitare l'influenza di ingressi d'aria dalle discontinuità del manto. Il colore scelto, il rosso "argilla", ha permesso di utilizzare nelle elaborazioni un coefficiente di assorbimento superficiale medio rispetto alle finiture disponibili sul mercato, oltre che caratteristico della più parte delle coperture nella zona geografica di interesse per la ricerca.

Le camere ventilanti avevano larghezza di 75,8 cm (camere laterali di guardia) e 72,8 cm (camere centrali di prova), e altezza di 7 cm + 4 (altezza libera + altezza dei listelli di supporto del manto). In linea di gronda la sezione di ingresso dell'aria era alta 7 cm. Un elemento prefabbricato noto come listello aerato con pettine parapasseri permetteva di avere la prima fila di tegole di gronda inclinata come le superiori e di simulare la situazione di posa reale di questo genere di manti di copertura.

Metodologia di prova ed elaborazione dei dati

Nel corso delle indagini preliminari, durante le quali la copertura è stata monitorata lungo le 24 ore, è stata osservata una notevole influenza sul sistema della intensità e direzione del vento, sensibilmente più importante della forzante della temperatura delle tegole al loro estradosso e all'intradosso nel condizionare l'andamento della ventilazione passiva sottomanto. Si è scelto perciò, nella fase di elaborazione dei dati acquisiti, di dare maggior peso ai confronti tra i dati ottenuti da rilievi con regime di vento più simile (ogni prova è stata ripetuta al fine di permettere questo genere di selezione da 8 a 14 volte). È stato valutato nelle varie conformazioni della copertura il flusso di calore eliminato per ventilazione, considerato come l'aria entri in intercapedine ad una temperatura t_a (aria esterna in ombra) ed esca ad una temperatura maggiore t_f .

Indicando con m_i ed m_f le portate d'aria in ingresso ed in uscita dell'intero condotto, comprendente sia la camera di ventilazione che la parte soprastante (volute delle tegole e spessore dei listelli di aggancio), si può calcolare il flusso termico di ventilazione q_v .

Le portate d'aria sono state calcolate quindi con la formula: $m_x = V_x \cdot \rho_x$

con:

m_x portata di massa

V_x portata volumica

ρ_x densità del fluido

Il flusso termico di ventilazione è stato così determinato: $q = m_f \cdot c_p \cdot (t_f - t_a)$

con:

m_f portata massica nella sezione di fine falda

c_p calore specifico dell'aria

t_f temperatura dell'aria esterna in ombra

t_i temperatura dell'aria nella sezione di fine falda

Per l'acquisizione dei dati nel corso delle prove la superficie della copertura è stata suddivisa in una maglia piana con 9 nodi per il posizionamento delle sonde e in 4 strati di profondità individuati da:

- estradosso tegole
- intradosso tegole
- superficie inferiore delle camere di ventilazione
- intradosso del pacchetto.

Variazioni dimensionali dell'uscita al colmo

Si è osservato il comportamento del sistema al variare della sola dimensione di uscita dell'aria al colmo, modificata da un sistema di sei pistoncini che permettevano di sollevare la struttura di colmo

ad intervalli prestabiliti. Si sono condotte prove di sollevamento da 1 a 6 cm con incrementi di 1 cm rispetto alla posizione di colmo semplicemente appoggiato.

Il semplice appoggio dei copponi di colmo sulle creste delle tegole dell'ultima fila lascia libera una superficie di sbocco in atmosfera pari a $350 \text{ cm}^2/\text{m}$ circa. Questo valore si situa nella fascia medio-alta delle dimensioni di uscita dichiarate dai produttori per elementi sottocolmo in commercio. Si è perciò testato anche l'effetto di riduzione di questo valore alla sua metà, ocludendo una voluta su due, ottenendo una sezione di $175 \text{ cm}^2/\text{m}$. Sono state misurate anche le prestazioni di un colmo "posato in malta" ($0 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Questa serie di prove ha dimostrato l'inaffidabilità di un confronto tra soluzioni di sottocolmo basato sul solo dato dimensionale. Si è ottenuto un miglioramento dell'efficienza della ventilazione superiore al 200% (fino al 236%) nel variare la sezione di ventilazione in uscita da 175 a $350 \text{ cm}^2/\text{m}$. Questo vale però in stretta relazione con la geometria delle diverse configurazioni del percorso dell'aria al colmo.

Passando infatti da un colmo realizzato con i soli elementi del listone, delle relative staffe e dei copponi ad uno dotato di elemento sottocolmo con sezione ventilante dichiarata di $380 \text{ cm}^2/\text{m}$, il risultato è stato di una riduzione dell'efficienza del 50%. Una prova con un elemento sottocolmo di $210 \text{ cm}^2/\text{m}$ dichiarati ha dato efficienza maggiore rispetto alla precedente. Ciò ha spostato l'attenzione sulle geometrie che si realizzano nel tratto terminale dei condotti di ventilazione, anche perché all'aumentare della sezione ventilante in uscita oltre $950 \text{ cm}^2/\text{m}$ (3 cm di sollevamento del sistema-colmo) si è ottenuta una progressiva diminuzione di efficienza.

Variazioni della distanza tra i due correntini di colmo per l'aggancio delle tegole

Il codice di pratica UNI 9460 consiglia alcuni dati dimensionali per la realizzazione di una copertura a falde a manto discontinuo. In particolare evidenzia come l'ultimo correntino di supporto del manto al colmo debba essere fissato in modo che il suo spigolo inferiore rivolto verso il displuvio disti dall'analogo spigolo dell'ultimo correntino dell'altra falda di 6-7 cm, generando una sezione di uscita massima di $600-700 \text{ cm}^2/\text{m}$ circa. Sono state condotte prove con arretramento progressivo di tali correntini, con il colmo in semplice appoggio su listone.

Dalla situazione conforme alla UNI 9460 passando all'arretramento di 1 cm di entrambi i correnti si ha un guadagno in efficienza del 40%. Portando l'arretramento a 2 cm il contributo migliorativo è salito al 168%. Seppure di difficile realizzabilità le soluzioni con arretramento di 3 cm hanno dato un valore di efficienza pari a 3,68 volte quella di riferimento. Oltre 4 cm di arretramento si sono registrati invece cali prestazionali.

Variazioni della curvatura degli elementi di colmo (copponi)

E' stata indagata anche l'influenza della curvatura trasversale dei copponi di colmo sull'efficienza della ventilazione. Sono state individuate le sezioni trasversali dei copponi dedicati alle tegole in calcestruzzo del modello impiegato, determinando poi due curvature con un raggio minore ed uno maggiore, scelte mantenendo invariata la corda di cerchio di 16 cm dei copponi di riferimento.

A parità di vento entrante in intercapedine si è registrata una efficienza di raffrescamento che aumenta con l'aumentare del raggio di curvatura dell'elemento.

L'elemento che simulava la curvatura di riferimento dei copponi di colmo aveva un diametro di 20 cm, l'elemento con curvatura minore ha registrato un incremento di efficienza del 76,7% rispetto a quello di riferimento, quello con curvatura più accentuata ha prodotto un decremento del 6,7%.

Prove con flussi comuni al colmo, con e senza listone, e con flussi separati

Un importante aspetto geometrico del colmo riguarda la confluenza o meno dei flussi di ventilazione nel tratto terminale del sistema. La loro separazione può rivelarsi utile:

- quando in una delle falde il tiraggio della ventilazione è particolarmente forte può provocare lo stazionamento d'aria lungo la falda opposta, impedendone il raffrescamento;
- quando lungo una delle falde le temperature sono particolarmente basse, la corrente di aria che proviene dall'altra falda può scendere lungo la prima, deponendovi umidità di condensa.

Si è perciò provveduto a testare:

- il colmo semplicemente appoggiato su listone, con parziale suddivisione dei flussi;
- il colmo semplicemente appoggiato privo di listone;

-il colmo semplicemente appoggiato con un pannello di spessore 2 mm a separazione dei due flussi.

Queste prove sono state effettuate sia con la distanza dei correntini indicata nella UNI 9460, sia aumentandola. Nel primo caso si è ottenuta una maggiore efficienza nella copertura con listone, un valore intermedio senza listone ed una prestazione peggiore con la separazione dei flussi (scarto tra la situazione migliore e la peggiore del 6,7%).

Con correntini arretrati di 1,2,3 e 5 cm la soluzione di separazione dei flussi si è invece dimostrata migliore delle altre due già a partire da un arretramento di 1 cm dei correnti di colmo.

Variazioni dimensionali dell'ingresso d'aria alle linee di gronda

Il funzionamento dell'intero sistema del tetto ventilato risente fortemente della possibilità che le camere di ventilazione hanno di rifornirsi di aria fresca dalle aperture poste lungo la linea di gronda. L'aria in camera infatti, riscaldandosi per convezione, diminuisce di densità, salendo così verso l'alto e fuoriuscendo dalle aperture presenti al colmo della copertura.

Precedenti ricerche hanno dimostrato che l'ingresso d'aria fresca può apportare benefici in certe situazioni, ma in altre può disturbare il tiraggio naturale delle camere di ventilazione, allo stesso modo che un camino non opportunamente dimensionato non offre una sufficiente capacità di allontanamento dei fumi.

Una condizione che nelle ricerche su modelli teorici non può essere simulata in modo aderente alla realtà è il diffuso ingresso di aria che si realizza tra le fessure generate dalla sovrapposizione degli elementi del manto di copertura. Non è quindi possibile in simulazione nemmeno conoscere il rapporto tra questa modalità di ingresso dell'aria e quella che ha luogo dalle bocche di presa lungo la linea di gronda.

E' sembrato pertanto opportuno indagare anche questi comportamenti, ponendo come variabile la sezione di ingresso dell'aria lungo la linea di gronda. Abbiamo provveduto a ridurre progressivamente la sezione di ingresso dell'aria in linea di gronda chiudendo anche le volute delle tegole e le forature del "listello aerato", sino ad occludere ogni passaggio d'aria in questa zona.

Questa serie di prove ci ha permesso di individuare una situazione ottimale che si genera con una superficie di ingresso d'aria in linea di gronda pari alla massima realizzabile con il sistema costruttivo impiegato. Essendo la ricerca orientata all'indagine relativa alle uscite per l'aria non sono stati ulteriormente indagati gli ingressi lungo le linee di gronda.

Combinazioni di diverse uscite d'aria

L'immissione in atmosfera dell'aria dalle camere di ventilazione di un tetto ventilato può avvenire secondo diverse modalità. La più frequente, poiché comunque presente in coperture discontinue, è quella di fughe d'aria attraverso gli incastri tra gli elementi di tenuta. Poiché tale effetto non è controllabile sperimentalmente, si è scelto di ridurlo quanto possibile attraverso una scelta finalizzata della tipologia del manto.

La seconda modalità quanto a frequenza è quella che si realizza nelle coperture dove i copponi di colmo non sono fissati a malta: in queste strutture l'aria può uscire dalle bocche che si creano tra il limite inferiore dei fianchi dei copponi e l'estradosso dei canali dati dalle volute delle tegole.

Tuttavia proprio la pratica scorretta ma non ancora scomparsa di fissare a malta i copponi, insieme a particolari esigenze applicative, ha indotto i produttori di elementi di copertura a produrre delle tegole per aerazione. Questi elementi, opportunamente posizionati, servono sia da ingresso d'aria lungo la linea di gronda, sia come bocche di uscita al colmo.

L'esigenza di migliorare sempre più la ventilazione e la coscienza che il punto privilegiato per l'uscita dell'aria in un sistema-camino è quello più alto individuabile, ha portato alcuni produttori "illuminati" a mettere a punto copponi di colmo ventilanti (3). Si tratta di copponi dotati di "sifoni" che impediscono l'ingresso di acque meteoriche, ma permettono la fuoriuscita dell'aria proveniente dallo strato di ventilazione.

Le prove sono consistite nel porre in opera diversi elementi per l'evacuazione dell'aria sia soli che combinati con altri pezzi speciali per coperture. Si sono utilizzate, singolarmente ed in combinazione tra loro le seguenti modalità di evacuazione:

- superficie di evacuazione di sottocolmo (semplice appoggio dei copponi sul colmo)
- superficie di evacuazione al colmo (ottenuta impiegando speciali copponi con funzione aerante aggiunta)

- bocche di evacuazione ottenute con posa di tegole per aerazione.

Visto che le dimensioni delle superfici di evacuazione dell'aria influenzano il funzionamento del tiraggio naturale in intercapedine in misura molto minore rispetto alle geometrie delle uscite si è posta attenzione alla localizzazione delle uscite piuttosto che alle loro dimensioni. Per la scelta del numero di elementi speciali di aerazione da posare in opera ci si è attenuti alle prassi correnti. Le tegole di aerazione sono state messe in opera con lo schema di 2 tegole normali-1 di aerazione-3 tegole normali-1 di aerazione. Le altre uscite sono generate dai copponi normali (uscite di sottocolmo) e da quelli di aerazione (uscite di colmo).

E' risultato che, nelle condizioni al contorno specifiche in cui si è svolta la serie di prove, è meglio evacuare l'aria di ventilazione dal colmo piuttosto che da ogni altro punto: infatti tutte le prove con partecipazione delle uscite al colmo hanno offerto significativi incrementi prestazionali rispetto alle corrispondenti che non ne beneficiavano. Inoltre l'uscita d'aria al colmo da sola supera quelle di sottocolmo ed anche l'abbinamento del sottocolmo con tegole di aerazione. In queste condizioni si dimostra perciò di grande efficacia l'idea di aggiungere la funzione di aerazione al coppone di colmo. E' del resto comune nei camini l'aumento di efficienza proporzionale all'altezza a cui si apre il condotto verso l'esterno.

Monitoraggi sulle 24 ore

Si è provveduto a monitorare il comportamento termico della copertura sperimentale anche con prove di rilevamento sulle 24 ore, con colmo semplicemente appoggiato, con listone, e linea di gronda completamente aperta (9-10 settembre 1999) e con tutte e due le linee di gronda chiuse, così come le uscite dell'aria al colmo (12-13 settembre 1999).

I rilevamenti sono iniziati alle 20.45 (cioè a tramonto completato) e si sono chiusi alle 21.15 del giorno seguente, per tutte le prove. La frequenza di acquisizione è stata fissata in 15 minuti. Va notato che la configurazione con linee di gronda e di colmo occluse intendeva simulare la posa in opera degli elementi che le costituiscono tramite allettamento su malta, ma non può ritenersi confrontabile con soluzioni dove l'intero manto è così posato. Nella copertura sperimentale rimaneva infatti al di sotto del manto una camera alta almeno 7 cm in ogni suo punto, e capace, come si è evidenziato, di ingenerare essa stessa moti convettivi.

Il primo rilievo svolto sull'intero ciclo delle 24 ore, analizzato sotto il profilo delle temperature dell'aria in intercapedine e all'esterno, ha mostrato come dalle 1.15 della notte alle 6.00 del mattino la temperatura esterna è stata più calda delle temperature all'interno della intercapedine di ventilazione, con il risultato che dalle 3.45 alle 6.30-7.00 la temperatura di fine camera è più fredda di quelle di metà ed inizio camera, con inversione dell'effetto camino. Dalle 7.00 alle 8.45 la temperatura in fine falda è più calda di quella all'inizio, ma più fredda di quella a metà. Soltanto alle 8.45 a fine falda si sono registrate temperature più alte che negli altri due punti, con innesco del tiraggio naturale convettivo che è proseguito fino alle 20.30 circa.

La presentazione congiunta in un unico paragrafo di queste due prove condotte sul ciclo intero notte-giorno è dovuta all'utilità del confronto diretto tra i dati emersi. La prima di queste prove ha avuto durante tutto il periodo di rilevamento temperature dell'aria esterna maggiori rispetto alla seconda, con un massimo delta termico di 3,4 °C.

E' risultato utile confrontare le temperature degli strati superiore ed inferiore dell'intercapedine ventilante e quelle dell'aria esterna nelle prove con ingressi ed uscite d'aria chiusi e aperti.

Intradosso tegole: dalle 21.15 quello della prova con copertura non ventilata scende sotto l'analogo con copertura ventilata, e vi rimane fino alle 08.15: questa differenza è da imputare probabilmente al solo effetto delle differenti temperature dell'aria esterna. Queste ultime sono tali che alle 2.30 la temperatura del rilievo tutto chiuso è 3,4 °C al di sotto della rispettiva con tetto ventilato, e alle 2.45 l'effetto si risente all'intradosso tegola con un delta termico di 3,3 °C.

Dalle 8.15 all'intradosso del manto le temperature maggiori sono registrate in continuo dalla configurazione chiusa, fino alle 16.00, con un massimo divario dall'altra configurazione di 2,3 °C alle 14.15, e valori medi che, dalle 12.00 alle 16.00 sono di 0,9 °C. A questo divario va aggiunto quello, dello stesso segno, tra le temperature dell'aria esterna: tra le 12.00 e le 16.00 si ha una differenza in media di 1,6 °C con punte di oltre 2,5 °C.

Le differenze più interessanti però si registrano sulla superficie inferiore della camera di ventilazione: qui la configurazione chiusa fa registrare temperature superiori a quella aperta dalle 11.30 fino alle 19.30, con differenze da +0,2 a +4,9 °C.

Sempre in termini di confronto tra le due prove, quando il delta termico raggiunge la punta di +4,9 °C la temperatura dell'aria esterna registra un -2,7 °C. Nonostante il dato sia da considerare con particolari cautele, il salto termico totale è di 7,6 °C. È bene ricordare come le temperature qui considerate sono state rilevate in centro falda e non in prossimità del colmo dove di norma la temperatura all'intradosso del manto raggiunge valori più elevati.

La costituzione del pacchetto di copertura del modello sperimentale impiegato non è inoltre caratterizzata da grande inerzia termica, come invece accade facilmente in coperture "reali", soprattutto in quelle realizzate con struttura latero-cementizia. In queste ultime sono pertanto possibili anche fenomeni di accumulo termico con la possibilità di ottenerne più significativi effetti di escursione termica tra configurazioni ventilate e non.

Prove di evidenziazione dei flussi fluidi al colmo: riprese video e fotografiche

Risultata chiara la forte influenza della morfologia dell'intercapedine ventilante nel suo tratto terminale al colmo si è deciso di indagare quanto accade all'aria ventilazione nello spazio di sottocolmo, attraverso una loro visualizzazione e registrazione tramite videocamera.

Con queste modalità sono stati rilevati i movimenti del flusso d'aria nel sottocolmo per tre configurazioni:

- colmo semplicemente appoggiato con listone di sottocolmo
- colmo semplicemente appoggiato privo di listone di sottocolmo
- colmo con flussi separati.

Non è stato possibile tracciare in contemporanea i due flussi: una prova di questo tipo potrebbe dimostrarsi particolarmente utile. Le prove qui esposte hanno comportato alternativamente il tracciamento del flusso di ventilazione proveniente dalla falda sud e da quella nord.

Ciò che appare evidente dalla visione delle riprese eseguite nel sottocolmo è che l'aria di ventilazione tende a seguire un percorso che non è precisamente quello definito dalle superfici che delimitano la sezione di sottocolmo perpendicolare alla linea di displuvio. In pratica, laddove l'intercapedine ventilante incontra l'ultimo correntino di falda l'aria tende a non lambire lo spigolo inferiore di questo elemento ma a rendere più lineare il suo percorso, scorrendovi ad una certa distanza. In questo modo essa dovrebbe però disporre di una sezione di passaggio superiore a quella da cui proviene: sappiamo invece come avvenga esattamente il contrario. In queste condizioni è facile comprendere come tra i flussi in salita dalle due falde si provochino disturbi reciproci che possono rallentare l'evacuazione.

Altro aspetto interessante è relativo alle situazioni nelle quali il vento soffia con una componente da sud. In queste condizioni si nota che l'aria esterna entra dalle volute delle tegole al colmo sul lato sud e fuoriesce da quelle verso nord. Anche in questo caso non è difficile pensare ad un ruolo di antagonismo dei flussi: quello da sud spinto in gronda e risucchiato in colmo, quello da nord con influssi esattamente opposti. Non abbiamo notato una ridiscesa d'aria in falda nord, ma è possibile supporre che vi sia uno stazionamento dell'aria di ventilazione lungo questa falda. Tuttavia essendo altalenante l'andamento dei moti ventosi questo stazionamento non si protrae a lungo, per quanto è possibile dedurre dalle riprese effettuate.

Considerazioni conclusive sui risultati

La ricerca sperimentale ha evidenziato che effettivamente il colmo si configura, all'interno del sistema della copertura a falde ventilate, come un elemento capace di produrne una forte riduzione delle prestazioni. Esso è, nelle conformazioni attualmente in uso, sede di strozzature del percorso del fluido di ventilazione e di particolari geometrie che comportano perdite di carico localizzate di entità anche notevole. I risultati della ricerca hanno permesso di individuare modifiche applicabili al colmo per ottenere una più agevole evacuazione dell'aria di ventilazione.

Una successiva sperimentazione ha indagato il comportamento della stessa copertura in situazione invernale, evidenziando come, nel contesto di collocazione del modello sperimentale, nella stagione più fredda non vi sia convezione naturale in intercapedine se non in presenza di vento entrante dalle bocche di gronda.

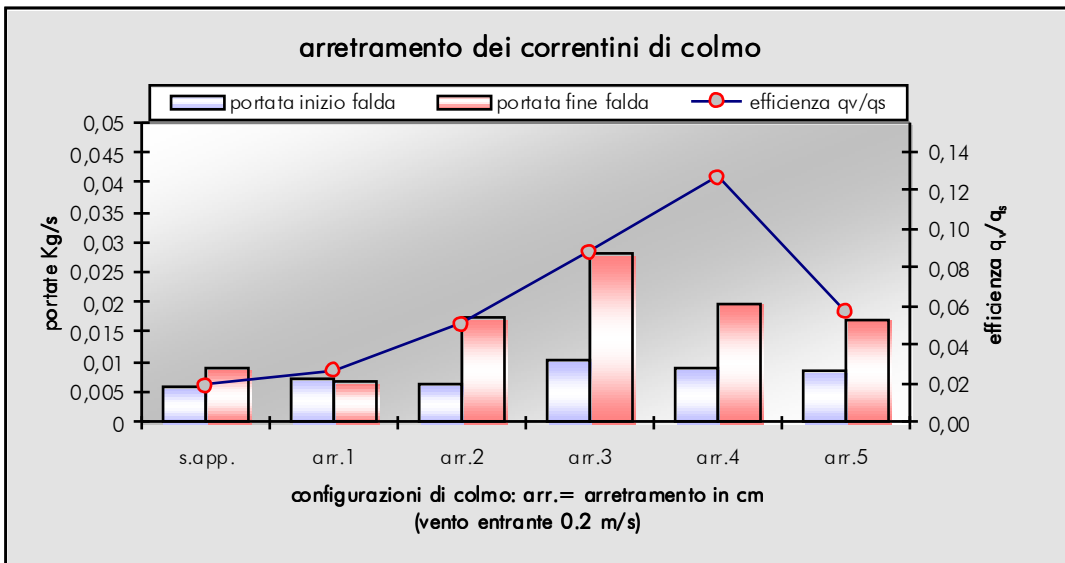
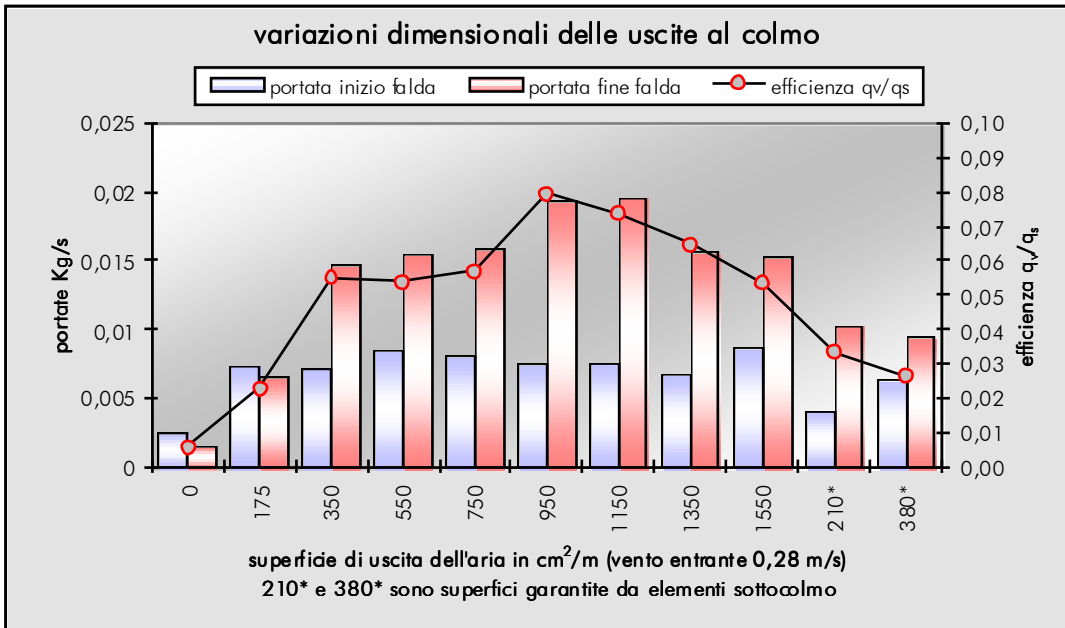
Bibliografia

- [1] AA.VV., 1993, CNR Progetto Finalizzato Edilizia. Relazione conclusiva del secondo anno di ricerca
- [2] AA.VV., 1995, CNR Progetto Finalizzato Edilizia. Relazione conclusiva del quarto anno di ricerca
- [3] Alpha G., Boffa C., 1982, I fenomeni termoigrometrici nelle strutture costituenti frontiera: le barriere vapore, Costruire 133, Milano
- [4] Avoletti M., 1997, Le coperture ventilate, Recupero e Conservazione 14, Milano
- [5] Bettanini E., Brunello P., 1993, Lezioni di impianti tecnici, Cleup Ed., Padova
- [6] Biasiolo D., 1998, L'aria come strumento attivo per il raffrescamento degli edifici, tesi di laurea non pubblicata, Relatore Zannoni G., Correlatore Peron F., I.U.A.V., Venezia
- [7] Favaro F., Simionato B., 1997, Studio della circolazione naturale dell'aria in un sistema di copertura a falda, tesi di laurea non pubblicata, Relatore: Zannoni G., Correlatore: Brunello P., I.U.A.V., Venezia
- [8] Ferretti A., 1998, Studio di coperture ad elevata prestazione termica in situazione estiva, tesi di laurea non pubblicata, Relatore: Zappavigna P., Correlatore: Liberati P., Università degli Studi di Bologna
- [9] Jeffrey E. C., 1991, Technics: under steep roofing, Progressive Architecture 5
- [10] Leslie Simmons H., 1991, Technics steep roofing recommendations, Progressive Architecture 5
- [11] Nelva R., 1991, Codici di pratica per le coperture in tegole, Costruire in laterizio 21, Milano
- [12] Nelva R., 1999, Normativa e utilizzatori nell'ambito delle coperture, Modulo 252, Milano
- [13] Romoli R., 1995, Il tetto a falde ventilato, Specializzata Edilizia 42
- [14] Seiffert K., 1970, Damp diffusion and building, Elsevier Publ., Amsterdam, London, New York
- [15] Silberstein A., Hens H., 1996, Effects of air and moisture flows on the thermal performance of insulations in ventilated roofs and walls, Thermal insulation and building environments, vol.19, Technomic Publishing Co.

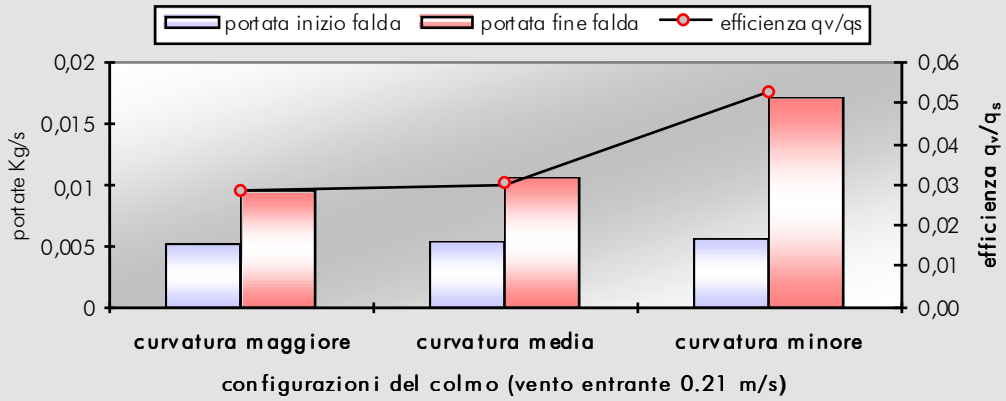
Note

- (1) All'interno dello IUAV di Venezia l'altezza ottimale delle intercapedini di ventilazione è stata indagata con simulazioni matematiche e prove sperimentali in ambiente controllato nella "ricerca CNR Progetto Finalizzato Edilizia, sottoprogetto 3, qualità e innovazione tecnologica, unità operativa: Braas Italia - Wierer, Chienes (BZ) Responsabile scientifico Giovanni Zannoni, Gruppo di Lavoro: Fabio Legisa, Francesco Mendini, Giorgio Raffellini - settembre 1990 - luglio 1992, secondo anno di ricerca -)" e nella "ricerca CNR Progetto Finalizzato Edilizia, sottoprogetto 3, qualità e innovazione tecnologica, unità operativa: Braas Italia - Wierer, Chienes (BZ) Responsabile scientifico Nicola Sinopoli, Gruppo di Lavoro: Franco Laner, Francesco Mendini, Giorgio Raffellini, Giovanni Zannoni, Gianfranco Cellai, Gabriele Giacomelli, Fabio Legisa - ottobre 1993 - marzo 1995 terzo anno di ricerca -)". Sullo stesso tema si è svolto invece un lavoro sperimentale in ambiente reale su un modello reale di copertura: Si tratta dell'indagine di Franco Favaro e Beatrice Simionato, "Studio della circolazione naturale dell'aria in un sistema di copertura a falde", confluito nell'omonima tesi di laurea, Relatore: Prof. Giovanni Zannoni, Correlatore Prof. Pierfrancesco Brunello, Istituto Universitario di Architettura di Venezia, A.A. 1996-'97). Si rimanda ai contenuti dei rispettivi rapporti di ricerca per quanto attiene alle caratteristiche morfologiche e dimensionali dei modelli di copertura indagati.
- (2) La ricerca di Alessandro Stazi, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna e Alessandra Carbonari, condotta su una copertura reale all'interno del Dipartimento di Edilizia della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ancona, ha prodotto risultati parzialmente riportati in "Alla ricerca del dimensionamento" in Modulo n.252 del giugno 1999, da pag.532. Questo lavoro si è svolto in tre fasi: una prima fase sperimentale di confronto di modelli fisici in laboratorio, per la valutazione dell'incidenza dello spessore della camera di ventilazione, un secondo momento consistente nel confronto di sistemi mediante simulazioni fluidodinamiche, per la valutazione dell'incidenza della lunghezza della falda ed un ultimo stadio consistente nell'analisi di un tetto ventilato in ambiente reale, al fine di ottenere elementi di raffronto rispetto all'analisi in ambiente controllato e alle simulazioni fluidodinamiche.
- (3) nella presente ricerca sono stati testati i copponi di colmo ventilanti "tile n.19" dell'azienda tedesca Erlus Baustoffwerke AG di Neufahrn/NB

Elenco figure e didascalie corrispondenti



variazioni curvatura trasversale dei copponi di colmo



temp. superfici superiore ed inferiore dell'intercapedine, e temp.aria esterna per copertura ventilata (9 sett '99) e non ventilata (12 sett '99)

