VENTILAZIONE DEGLI AMBIENTI SERRAMENTI, LEGGI E REGOLAMENTI



IN COLLABORAZIONE CON:

FRAMES
ARCHITETTURA DEI SERRAMENTI

AICARR

Associazione italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione



Associazione Italiana Serramenti PVC

PROF. GAETANO ALFANO

(Dipartimento di Energetica Università di Napoli)

"IL PROBLEMA DELLA QUALITA' DELL'ARIA E L'IMPORTANZA DEGLI INFISSI"

PROF. LORENZO AGNOLETTO

(Dipartimento di Energetica e Macchine Università di Udine)

"I REQUISITI E LE NORME EUROPEE NAZIONALI"

PROF. MARCO MASOERO

(Dipartimento di Energetica Politecnico di Torino)

"METODI DI CALCOLO E DI VERIFICA SPERIMENTALE PER LA VENTILAZIONE DEGLI AMBIENTI"

ING. MARCELLO COLLANTIN (ALDES)

"LA VENTILAZIONE DOMESTICA INTELLIGENTE: regolamenti ed esperienze"

ING. MARCO PIANA

(Direttore SI-PVC)

"LA FUNZIONE DEI SERRAMENTI E DEI SISTEMI DI OSCURAMENTO ESTERNO PER LA CORRETTA VENTILAZIONE ED AERAZIONE DELL'EDIFICIO" Innanzitutto permettetemi di ringraziare gli organizzatori di questo Convegno per l'invito rivoltomi.

E devo portare, in qualità di membro della Giunta nazionale dell' AICARR, nonché presidente della sua Commissione Editoria e Documentazione e Vice-presidente della sua rivista, anche i ringraziamenti dell'AICARR per aver voluto gli organizzatori la sua adesione a questa manifestazione, adesione che l' AICARR è stata ben lieta di dare. Devo spendere due minuti per illustrare l'AICARR a quanti non la conoscono. AICARR sta per "Associazione Italiana Condizionamento dell'ARIA Riscaldamento Refrigerazione". E' un'associazione culturale nata nel 1960, con sede principale a Milano e con delegazioni regionali in tutt'Italia.

Attualmente ha circa 1800 soci e raccoglie quanti si occupano di climatizzazione: universitari, ricercatori, progettisti, consulenti, produttori, installatori, etc. Noi riteniamo che i serramenti, in quanto importante componente dell'involucro dell'edificio, rappresentano, di fatto e comunque, anche un componente del sistema di climatizzazione, ed auspichiamo perciò che i rapporti tra l'Associazione Serramenti PVC e l'AICARR diventino sempre più frequenti.

Il compito che mi è stato affidato è quello di parlare della qualità dell'aria e dell'importanza degli infissi.

Il problema della qualità dell'aria negli ambienti interni, fino a poco tempo fa trascurato, è molto importante considerato che mediamente le persone passano oltre il 90% del loro tempo all'interno di edifici.

Il punto fondamentale da tenere ben chiaro è che inevitabilmente e continuamente nell'aria all'interno degli edifici vengono immessi inquinanti. Come si vede dalla Tabella 1, le fonti di inquinamento sono molteplici.

La prima fonte di inquinamento siamo noi stessi. Ingeriamo cibi e bevande che nel nostro corpo subiscono una serie di complesse trasformazioni chimiche, chiamate metabolismo. Uno dei prodotti del metabolismo è l'emissione nell'aria di sostanze volatili che chimicamente sono essenzialmente sostanze aromatiche e che vengono chiamate generalmente "bioeffluenti". Se entriamo in una stanza dove si trovano delle persone che giocano a

Il problema della qualità dell'aria e l'importanza degli infissi

Ing. Gaetano Alfano

Tabella 1

ORIGINE DEGLI INQUINANTI PRODOTTI ALL'INTERNO DEGLI AMBIENTI

- DALLE PERSONE, PER EFFETTO DEL LORO METABOLISMO (BIOEFFLUENTI),
- DA ANIMALI DOMESTICI,
- DAL FUMO DI TABACCO,
- DALLA COTTURA DEI CIBI,
- DAI CIBI STESSI,
- DA APPARECCHIATURE (P.E. FOTOCOPIATRICI, STAMPANTI),
- DA PRODOTTI PER LA PULIZIA (DETERSIVI, PRODOTTI PER L'IGIENE PERSONALE),
- DA MATERIALI EDILIZI,
- DALL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

carte da molte ore e che non hanno mai aperto la finestra sentiamo aria viziata, anche se nessuno dei cinque ha fumato. Ovviamente l'aria sarà ancora più "viziata" se gli occupanti hanno fumato, in quanto in questo caso ai bioeffluenti si sono aggiunti i prodotti della combustione delle sigarette.

Il metabolismo è un fenomeno animale, non riguarda solo gli uomini. Pertanto, se in casa ci sono animali domestici, anche questi emettono sostanze inquinanti, in parte simili a quelle emesse dagli uomini.

C'è poi l'inquinamento connesso alla preparazione dei cibi.

E' raro che nelle cucine delle nostre case ci sia un impianto di estrazione dell'aria. Normalmente ci sono delle cappe che filtrano e ricircolano l'aria; ma i filtri non sono capaci di abbattere tutte le sostanze prodotte durante la cottura dei cibi o emesse dai cibi stessi e spesso non vengono cambiati con la frequenza necessaria.

Negli uffici si ha inquinamento da apparecchiature (stampanti, fotocopiatrici, etc.).

Nelle case e negli uffici, per la pulizia si usano tutta una serie di prodotti che spesso emettono una serie di sostanze inquinanti. Se si passa in ufficio dopo che la ditta addetta alla pulizia ha svolto la sua attività, si sentono generalmente degli odori molto insistenti e un aria poco respirabile. Negli uffici spesso il fenomeno è accentuato in quanto le ditte, per svolgere il loro compito efficacemente e rapidamente, tendono ad usare prodotti molto aggressivi e perciò anche più inquinanti.

Da una decina di anni è ormai ben chiaro che gli stessi materiali usati per l'edilizia sono fonti di inquinamento: vernici, plastiche, parati, etc. E lo sono anche alcuni arredi: tappeti, moquettes, etc.

Lo stesso impianto di ventilazione, se la manutenzione è insufficiente, può essere sorgente di inquinanti. Nei canali si può accumulare polvere e sporcizia; nei filtri, nell'isolamento termoacustico, se interno ai canali, nell'acqua di condensa si possono avere addirittura colture di microorganismi.

Nella tabella numero 1 manca il radon, che non si avverte ma che può essere molto pericoloso se presente in concentrazioni elevate. Il radon, che é un gas prodotto dal decadimento del radio 226 che si trova nel suolo, nelle rocce vulcaniche e in alcuni tipi di pietre da costruzione, soprattutto nei tufi, è molto pericoloso in quanto, se la sua concentrazione supera certi valori, induce malattie tumorali.

E' un campo non ancora ben esplorato; in Italia mancano delle campagne accurate di rilievi e pertanto non bisogna fare dell'allarmismo. E' bene però sapere che il problema esiste.

Tabella 2

PRINCIPALI INQUINANTI PRESENTI NELL'ARIA ESTERNA - OSSIDO DI AZOTO - OSSIDO DI ZOLFO - OSSIDO DI CARBONIO - COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC) - PARTICOLATO SOSPESO TOTALE (PST) - OZONO - POLLINI - MUFFE, BATTERI, FUNGHI

Ovviamente gli inquinanti prodotti si aggiungono a quelli presenti nell'aria esterna, che vengono ricordati nella Tabella 2.

Da alcuni anni si è così introdotto il concetto di "carico inquinante" dell'ambiente o "capacità inquinante", in analogia per esempio al concetto di carico termico. L'unità di misura del carico inquinante, probabilmente non ancora molto nota, è l'olf, definita come "il carico inquinante prodotto da una persona in quiete, in condizioni di benessere, con l'abitudine di 0,7 docce al giorno" (ovvero da una persona che mediamente si fa due docce ogni tre giorni). E' una definizione che può sembrare un po' strana, ma bisogna comprendere che l'esigenza era quella di standardizzare un carico inquinante.

La concentrazione di inquinanti dipende poi sia dal carico di inquinante, sia dalla ventilazione, che ha un effetto di diluizione degli inquinanti. Poiché le sostanze inquinanti sono moltissime e la misura della loro concentrazione non è semplice, da alcuni anni è stato introdotto il concetto di "livello di inquinamento percepito", che è il livello di inquinamento "sentito" mediamente dalle persone. L'unità di misura del livello di inquinamento percepito è il "decipol", "definito come "il livello di percezione di inquinamento che si ha quando il carico inquinante è di 1 olf e la ventilazione è di 10 litri al secondo".

Le normative del settore sono ricordate nella tabella 3. La più importante é certamente l'ASHRAE 62 (L' ASHRAE è l'associazione tecnica americana che si occupa di climatizzazione e che ha soci in tutto il mondo) attualmente in fase di profonda revisione. Molto sinteticamente l'ASHRAE 62 - 89 prescrive che la ventilazione sia in alcuni casi in funzione del numero di persone presenti, in altri casi in funzione della superficie o del volume dell'ambiente, in altri ancora in funzione del carico inquinante. La prENV 1752 è una proposta di norma europea, che non riguarda solo la ventilazione ma anche il microclima e l'acustica degli ambienti e che, per quanto riguarda la ventilazione, riprende la proposta ASHRAE utilizzando maggiormente il concetto di carico inquinante e di livello di percezione di inquinamento.

L'anno scorso non è stata approvata ed a fine settembre '96 sarà rimessa in votazione. Se verrà approvata, dopo sei mesi, come tutte le norme europee, diventerà anche norma italiana. Infine l'anno scorso è stata approvata dall'UNI, l'ente normativo italiana, la UNI/CTI 10399 che riguarda gli impianti aeraulici e che si rifà all' ASHRAE 62 - 89 per quanto riguarda i requisiti di ventilazione degli ambienti.

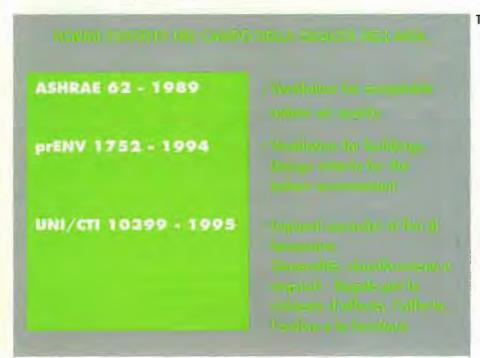


Tabella 3

In Italia, negli anni scorsi, mancando una normativa sulla ventilazione, erano state emanate varie disposizioni (decreti ministeriali, circolari ministeriali, etc.) nelle quali, per i diversi settori era stata regolata tra l'altro la ventilazione dei locali. Nella tabella 4 vengono riportate le più importanti.

Comunque, per quanto riguarda la ventilazione, gli ambienti si dividono in due grandi categorie: quelli dotati di impianto di ventilazione e quelli, sono la maggioranza, senza impianto. Nella seconda categoria rientrano quasi tutte le abitazioni, che in Italia raramente sono dotate di impianto di ventilazione. Negli ambienti della seconda categoria la ventilazione é naturale, è affidata cioé all'apertura degli infissi ed ai ricambi d'aria che si hanno attraverso gli infissi chiusi.

All'inizio degli anni settanta c'è stato un considerevole aumento del costo dell'energia, che ha indotto a ridurre le portate di ventilazione : con la portata di ventilazione si disperde infatti energia termica. Si sono così realizzati infissi sempre più a tenuta, non sempre tenendo presente che aumentando la tenuta dell'infisso si riducono i ricambi d'arria, il che comporta una riduzione delle dispersioni e quindi delle spese di energia, ma anche un aumento della concentrazione degli inquinanti. L'infisso a tenuta perfetta, che erroneamente secondo molti è l'obiettivo a cui tendere, è invece causa di elevatissime concentrazioni di inquinanti per gli ambienti senza impianto di ventilazione, che diventano così sicuramente non salubri ed addirittura nocivi per gli occupanti.

Finora non ho ricordato che le persone emettono anche vapore d'acqua (dalla pelle e

CIRC. M.LL. 22.11.74 N. 130	TERMICHE, IGROMETRICHE, DI VENTILAZIONE E DI ILLUMINAZIONE (PUNTO 1.2.02)
D.M. 18.12.75	: NORME TECNICHE AGGIORNATE RELATIVE ALL'EDILIZIA SCOLASTICA; IVI COMPRESI GLI NDICI MINIMI DI FUNZIONALITA' DIDATTICA, EDILIZIA ED URBANISTICA, DA OSSERVARSI NELL'ESECUZIONE DI OPERE DI EDILIZIA SCOLASTICA
L 11.11.75 N. 584	: DIVIETO DI FUMARE IN DETERMINATI LOCALI E SU MEZZI DI TRASPORTO PUBBLICO
D.M. 18.05.76	: DISPOSIZIONE IN ORDINE AGLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO O DI VENTILAZIONE DI CUI ALLA LEGGE 11.11.75 N. 584
D.M. 5.8.77	: DETERMINAZIONE DEI REQUISITI TECNICI SULLE CASE DI CURA. PRIVATE (ART. 11)
D.M. 20.11.81	: NORME DI SICUREZZA PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DELLE AUTORIMESSE E SIMILI (PUNTO 2.7)
D.M. 25.8.89	: NORME DI SICUREZZA PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI IMPIANTI SPORTIVI (ART. 13)
CIRCOLARE DEL SETTORE SANITA' ED IGIENE DELLA REGIONE LOMBARDIA, 17.03.95	: ATTO DI INDIRIZZO E COORDINAMENTO CONCERNENTE LA VENTILAZIONE E L'AEREAZIONE, LA INSTALLAZIONE E LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE AMBIENTALE E DEGI APPARECCHI DI COMBUSTIONE, ALLONTANAMENTO DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE NELLE ABITAZIONI DI NUOVA COSTRUZIONE.

nella respirazione), sostanza immessa negli ambienti anche dagli animali e dalle molte operazioni di cottura dei cibi. Pertanto, una scarsa ventilazione comporta l'aumento della concentrazione non solo degli inquinanti ma anche del vapore d'acqua e quindi dell'umidità relativa. E quando l'umidità relativa supera certi valori, inevitabilmente condensa sulle superfici più fredde, sviluppando soprattutto muffe e funghi, caraterizzate da macchie mal odoranti, ed acari, responsabili di manifestazioni allergiche e asmatiche. L'esigenza della necessità di adeguati ricambi naturali non è un'istanza recente. Esiste una norma UNI la 7979 del 1979 "Serramenti esterni (verticali) - Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento", che, come si comprende dal titolo, fornisce la classificazione ed i criteri di scelta dei serramenti esterni relativamente alla tenuta all'acqua, alla resistenza al vento ma anche, appunto, alla permeabilità all'aria. Per quanto riguarda la permeabilità all'aria, questa viene espressa in termini di metri cubi all'ora che passano attraverso l'infisso, riferiti al metro lineare di apertura di infisso stesso. Ed esiste una norma europea, UNIEN 42 del 1975, "Metodi di prova delle finestre - Prova di permeabilità all'aria", che standardizza la prova da effettuare per classificare il serramento esterno ai fini della UNI 7979. Purtroppo però queste due norme sono poco conosciute e soprattutto poco utilizzate, anche dagli addetti ai lavori. Ne in Italia si sono diffuse le griglie di aereazione, molto usate in altri paesi europei. Il tempo a mia disposizione è scaduto. Devo però concludere questa mia conversazione con un invito: tutti, progettisti, collaudatori, installatori, dobbiamo impegnarci ad offrire sempre al committente la soluzione corretta (che spesso, per ambienti senza impianto di ventilazione consiste probabilmente proprio nell'uso di griglie di aerazione), chiarendo con precisione quali sono gli inconvenienti di una insufficiente ventilazione. Il committente, per questioni di costo, potrà non accettare la proposta, ma avremo contribuito alla diffusione della cultura della qualità dell'aria, di cui c'é enormemente bisogno per la

Grazie a tutti.

salute delle generazioni future.

Domanda: Nel carico inquinante si deve considerare l'anidride carbonica?

Risposta: L'anidride carbonica, nelle concentrazioni nelle quali si riscontra generalmente, non è nociva ne fastidiosa.

Pertanto praticamente non influisce sui decipol dell'ambiente, cioé sul livello dell'inquinamento percepito. La sua concentrazione è però usata spesso come indice oggettivo di inquinamento in quanto è rappresentativa della concentrazione del carico inquinante totale.

l requisiti e le norme europee e nazionali

Prof. Lorenzo Agnoletto

La normativa esistente è quella conseguente all'entrata in vigore della Legge 10.91. Il decreto a cui questa legge si riallaccia è il n. 412/93 prodotto dal Ministero dell'Industria che in collegamento con quello in preparazione del Ministero dei Lavori Pubblici, fornirà, il quadro completo per quanto riguarda la Progettazione degli Involucri e degli Impianti.

La normativa ministeriale considera importante il problema della ventilazione e il problema della qualità degli ambienti. Come conseguenza della legge 373 e quindi per soddisfare la necessità di limitare i consumi di energia, i serramenti sono stati proposti a tenuta molto spinta, provocando un abbassamento della qualità degli ambienti sia a livello di qualità ambientale, quindi dell'aria interna, sia a livello di caratteristiche costruttive (presenza della muffa sulle pareti).

Questo effetto è legato alla scarsissima ventilazione che si registra attualmente negli ambienti e che col nuovo quadro normativo si cerca di superare mediante il Decreto 412 sugli impianti e soprattutto con la nuova bozza del Ministero dei Lavori Pubblici, all'interno della quale sono riportati i requisiti che devono essere soddisfatti nella progettazione dell'involucro edilizio. Negli ambienti residenziali è richiesto un valore minimo di ventilazione pari a 0,5 ricambi/ora, valore inserito nella bozza che è stata licenziata dal Ministero dei Lavori Pubblici.

Quindi la ventilazione dovrà essere attuata attraverso gli infissi, attraverso una ventilazione forzata oppure mediante una griglia aggiuntiva così da permettere l'ingresso nell'ambiente di 0,5 ricambi/ora. Attualmente, finchè non uscirà il sopra citato decreto legge, l'unico documento in cui si parla di controllo della qualità dell'aria e quindi di verifiche igrometriche è il decreto ministeriale 13 dicembre 1993. Lo stesso è richiamato all'art. 28 della Legge 10/91. In questo ultimo sono riportati i dati che il progettista dell'involucro edilizio e dell'impianto deve fornire e allegare alla richiesta di domanda di concessione edilizia. Tra tutti i diversi parametri, un aspetto fondamentale è rappresentato dalla verifica igrotermica. L'art. 28 della Legge 10 richiede che la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale e superficiale; cioè devono essere eliminati i fenomeni legati alla muffa superficiale. E questo è il motivo fondamentale per cui il Ministero ritiene di non scendere sotto ai 0,5 ricambi/ora, almeno nella situazione residenziale. Per le altre tipologie edilizie si fa riferimento ad altre leggi specifiche (ospedaliere, scolastiche).

La verifica della condensa superficiale consiste nell'evitare che in qualche punto delle pareti si possa avere una temperatura al di sotto di quella di rugiada dell'aria ambiente. L'aria ambiente contiene del vapore, il vapore può condensare se viene portato ad una temperatura inferiore a quella di rugiada che è legata alla quantità di vapore presente. In inverno le pareti sono più fredde e quindi l'aria a contatto delle pareti si raffredda. Bisogna evitare che questo raffreddamento porti la temperatura al di sotto di quella di rugiada.

Si pongono quindi due requisiti:

primo: costruire in maniera opportunamente isolata le pareti per mantenerle sufficientemente calde.

secondo: limitare la quantità di vapore in modo tale che la temperatura di rugiada non salga oltre certi limiti.

I punti più delicati dove può aversi formazione di condensa sono i cosiddetti "ponti termici", gli spigoli.

In funzione del volume, in funzione del vapore prodotto dovrà essere quantificato il numero di ricambi d'aria per far sì che non scenda mai al di sotto la temperatura di rugiada corrispondente.

Sono state effettuate alcune verifiche per comprovare che il valore di 0,5 sia un valore corretto, per tutti i mesi dell'anno per alcune località italiane.

Mediante un'analisi con programmi di calcolo per la previsione di comportamento degli ambienti soggetti a ventilazione naturale, sono state effettuate alcune verifiche per tre differenti livelli di produzione di vapore interno (in edifici con uguale fattore di temperatura $f_t = 0.7$ di cui verrà riportato in seguito).

La Fig. 1 riporta i valori di ricambi d'aria necessari in differenti città nelle differenti sta-

gioni con produzione di vapore "G" pari a 1,8 a/m³ h.

Così la Fig. 2

per $2.8 \text{ g/m}^3 \text{ h}$ e la Fig. 3 per $3.6 \text{ g/m}^3 \text{ h}$.

La Fig. 4 mostra invece in confronto con Fig. 1 come variano le richieste dei ricambi di ventilazione nel caso di variazione del fattore di temperatura da ft = 0,7 a f_t 0,6.

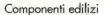
Abbassando il valore di f_t, ovvero abbassando le temperature superficiali, i volumi di ricambi d'aria devono aumentare per evitare il fenomeno della condensa superficiale.

Alcuni dati relativi alla quantità di vapore prodotte ed al grado di ventilazione con la presenza di inquinanti sono riportati in Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11.

I fenomeni legati alla ventilazione degli ambienti ed alla formazione di condensa superficiale ed interstiziale sono quindi intimamente connessi.

E' quindi necessario riportare anche alcuni dati sulle condizioni di verifica della condensa negli edifici.

Il Decreto del Ministero dell'Industria del 13 dicembre 1993, che contiene i facsimile delle relazioni tecniche richiamate all'art. 27 della Legge 10/91, riporta i parametri che devono essere calcolati e verificati nell'ipotesi in cui si costruisca o si faccia un intervento sull'impianto termico o sull'involucro edilizio. In particolare è richiesta anche la verifica della condensazione superficiale e di quella interstiziale delle strutture edilizie. Per quanto riguarda la verifica della condensazione superficiale si richiede che in nessun punto delle strutture si raggiunga una temperatura minima inferiore a quella di rugiada relativa all'aria ambiente. Per quanto riguarda la verifica interstiziale si richiede che la quantità di vapore che condensa all'interno delle strutture edilizie sia in grado di evaporare durante la stagione estiva. Vengono di seguito riportati i dati necessari per l'applicazione delle procedure di calcolo della verifica superficiale ed interstiziale.



Per ciascun materiale utilizzato nei componenti edilizi sono necessari i seguenti parametri:

- conduttività termica,
- resistenza termica,
- coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore (μ)

Per ciascun strato del componente edilizio:

- spessore dello strato (s)
- spessore d'aria equivalente (μs)

Per strati d'aria il valore di us è considerato pari a 0,01 m.

I valori delle proprietà termiche dei materiali sono desunti dalla UNI 10355.

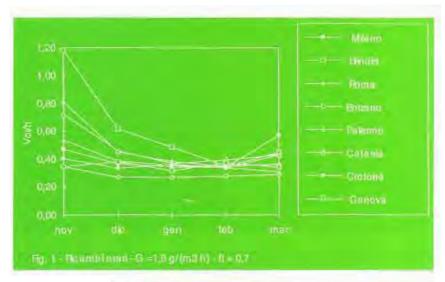
Condizioni climatiche

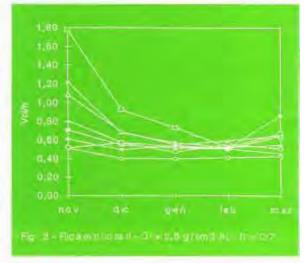
Temperature

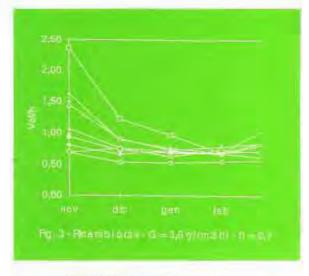
Aria esterna:

Sono richiesti i valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna (UNI 10349) Nel caso di pareti addossate al terreno si considera la temperatura media annuale dell'aria esterna

Aria interna:







 requisiti e le narme europee e nazionali

Prof. Lorenzo Agnoletto

Il valore della temperatura dell'aria interna deve essere scelto in funzione del tipo di uti-

lizzo dell'edificio (tale dato deve essere specificato a livello nazionale). In relazione ai valori richiamati nel DPR 412/93 si può pensare di assumere: Periodo di riscaldamento:

 per tutti gli edifici ad esclusione di quelli industriali

20°C,

- per quelli industriali

18°C

Periodo non di riscaldamento:

- temperatura interna pari a quella esterna

Umidità

Aria esterna

Sono richiesti i valori medi mensili della umidità assoluta (ve) o della pressione parziale del vapore (p_e) dell'aria esterna (UNI 10349)

Nel caso di pareti addossate al terreno si assume la condizione esterna di umidità relativa del 100%.

Aria interna

Essa si ricava come segue:

$$v_i = v_e^* \Delta v \circ p_i = p_e + \Delta p$$

I valori di incremento Δv o Δp dipendono dal tipo di utilizzazione dell'edificio. La seguente tabella fornisce alcune linee guida introducendo quattro classi di umi-



2.00
2.00
1.00
2.00
1.00
Palejino
Palejino
Crojoni
Ganova

III. I Teamitoran G = 1.0 gr (m.2.0) 1 = 9.6

LA QUANTITA" DI VAPORE PRODOTTO PER UNITA' DI VOLUME DELL'EDIFICIO E' LEGATA AL TIPO DI ATTIVITA'. IN AMBIENTI RESIDENZIALI SI POSSONO MEDIAMENTE CONSIDERARE QUESTI VALORI DI VAPORE PRODOTTO:

- PERSONE IN RIPOSO
- PERSONE IN ATTIVITÀ
- LAVAGGI
- CUCINA

Fig. 5 Quantità di vapore prodotto

0,05 KG/H 0,08 KG/H

3 KG/GIORNO

1,5 KG/GIORNO

dità e riportando per ciascuna dei valori indicativi.

I valori di incremento di Δv o Δp possono essere considerati in funzione della classe dell'edificio e del valore della temperatura dell'aria esterna;

Si assume che l'incremento sia nullo per valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna uguale o superiori a 22° C, e massimo per valori uguali o inferiori a 0°C. I valori di Δp sono espressi in Pa.

In ogni caso i valori di Ap o Av possono essere determinati come segue:

$$\Delta p = \Delta v. R_v. T = \frac{G}{n.V} \cdot R_v.T$$

dove: R, è la costante del vapore d'acqua 462 (Pa m³)/(K kg)

T è la temperatura assoluta dell'aria interna (K)

G è la quantità di vapore d'acqua prodotta in kg/h

n è il numero di ricambi d'aria per ora

V è il volume dell'aria interna in m³

Incremento di Dp

Temp. aria esterna

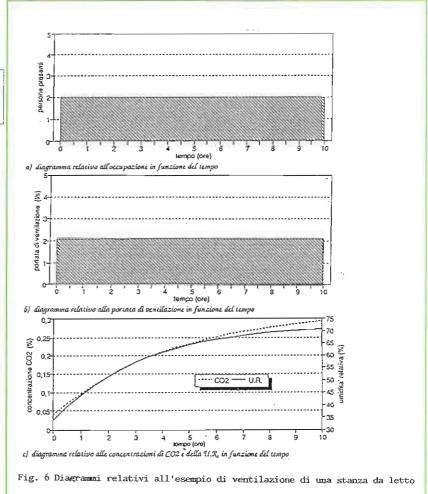
Ap in funzione della classe dell'edificio e della temperatura media dell'aria esterna.

Resistenze liminari

I valori delle resistenze liminari sono le seguenti: resistenza interna liminare R;=0,2 (m²K)/W resistenza liminare esterna R_e= 0,04 (m²K)/W

Verifica della condensazione superficiale

Nel progetto di norma CEN, viene stabilito che, se si vuole evitare che insorga il pericolo di formazione di condensa superficiale delle pareti, è necessario che l'umidità relativa dell'aria a contatto di un qualunque punto dell'involucro edilizio non superi su base mensile il valore di φ = 0,8. Per controllare questo fenomeno è quindi necessario evitare sia il raggiungimento di elevati valori di pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria interna, sia che la temperatura superficiale delle pareti dell'involucro possa scendere al di sotto di certi limiti critici.



Per ciascun mese compreso tra Ottobre ed Aprile si devono quantificare i seguenti para-

- a) temperatura media mensile dell'aria esterna
- b) temperatura interna dell'ambiente
- c) quantità di vapore orario medio mensile prodotto per unità di volume G
- d) pressione parziale media mensile dell'aria esterna

Оае

θai

 P_{ve}

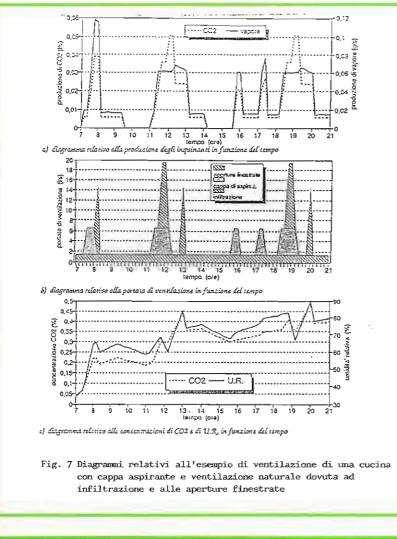
 $h^{\cdot 1}$ e) numero di ricambi di aria

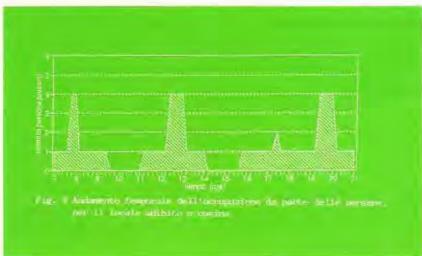
Utilizzando tali dati si calcola:

- f) la pressione parziale del vapore contenuto nell'aria interna attraverso l'applicazione dell'eq. (2) oppure in prima approssimazione dal grafico di fig. 1 in funzione della classe di edificio e della temperatura media dell'aria esterna.
- g) la pressione di saturazione dell'aria interna che è assunta pari a $p_{sat} = p_{vi}/0.8$
- h) la temperatura di saturazione θ_{sat} corrispondente applicando in modo inverso la seguente relazione:

 $p_{sat} = \exp[65.81-7066.27 / (\theta_{sat} + 273.15) - 5.976 \ln (\theta_{sat} + 273.15)]$

i) la temperatura superficiale minima che è assunta pari a quella di saturazione





resistenza interna liminare resistenza liminare esterna I) il fattore di temperatura f_{t} come: $f_{t} = \frac{\theta_{si} \theta_{ae}}{\theta_{ai} \theta_{ae}}$

dove:

θ_{si} è la temperatura superficiale minima

θai è la temperatura dell'aria esterna

θ_{ai} è la temperatura dell'aria interna

Il calcolo deve essere ripetuto per tutti i mesi. Il mese per il quale il fattore f_{t} assume il valore più alto rappresenta il mese critico. Il valore di f_{t} è legato alle caratteristiche costruttive delle pareti che costituiscono l'involucro edilizio. Pertanto in nessun punto dell'involucro, ad eccezione delle superfici vetrate o metalliche, dovrà risultare un valore di temperatura superficiale tale da dare un valore di f_{t} minore di quello massimo considerato. Il valore di f_{t} sarà tanto più alto quanto minore è il numero di ricambi di aria previsti e soprattutto quanto più elevata risulta la quantità di vapore prodotta. Per ciascun componente edilizio, il valore di ft dipende da:

- forma e dimensioni geometriche del componente
- parametri geometrici e termofisici dei materiali costituenti il componente
- coefficienti liminari di scambio termico.

Per ottenere elevati valori di f_t sarà necessario prevedere elevati valori di isolamento termico delle strutture edilizie e ridurre al minimo. l'effetto di ponte termico dovuto a disomogeneità geometriche e di materiale. In corrispondenza ad una parete piana soggetta ad un flusso termico monodimensionale perpendicolare ad essa, il valore di f_t è dato da:

$$f_t = 1 - R_i \cdot U$$

dove:

U è la trasmittanza termica globale della parete

R; è la resistenza liminare interna

In presenza di disuniformità geometrica o costruttiva (zona di ponte termico) la determinazione di ft risulta molto più complessa in quanto il campo termico che si stabilisce è di tipo bitridimensionale. Per la determinazione di f_t si richiede il calcolo della temperatura superficiale minima in corrispondenza della zona studiata utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573-1992, considerando le seguenti condizioni al contorno

ambiente interno riscaldato

 $\theta_{ai} = 1^{\circ}C$

ambiente esterno

 $\theta_{ae} = 0^{\circ}C$

 $R_i = 0.2 \, (m^2 K)/W$

Re = $0.04 (m^2 K)/W$

Date le particolari condizioni al contorno considerate, il valore di ft coincide con quello della temperatura superficiale minima calcolata.

In alternativa alla procedura sopra vista per la determinazione di ft si potrebbe usare la seguente relazione:

$$f_t = \frac{f_r \cdot R_{se} + R_{min}}{R_{se} + R_{min} + R_{si}}$$

(5)

dove:

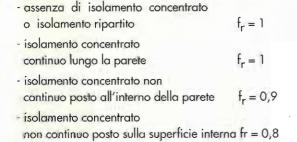
f_r : coefficiente di correzione dovuto alle caratteristiche geometriche del ponte termico

R_{min}: resistenza termica minima in corrispondenza ai diversi percorsi che si possono individuare a partire dal punto singolare interno verso l'esterno calcolata tra la superficie interna ed esterna la superficie interna ed esterna

Il valore di f_r dipende dalla situazione geometrica. Nel caso di giunto d'angolo e giunto tra parete verticale e solaio disperdente il coefficiente f_r assume i seguenti valori:

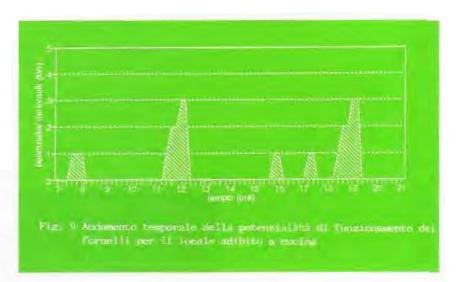
- assenza di isolamento	$f_r = 0.8$
- isolamento ripartito	$f_r = 0.8$
- isolamento concentrato continuo	$f_{r} = 0.8$
- assenza di isolamento concentrato	$f_r = 0.8$
- isolamento concentrato non continuo posto all'interno della parete	$f_r = 0.7$
- isolamento concentrato non continuo posto sulla superficie interna	$f_r = 0.5$

Nel caso di parete verticale con solaio orizzontale non disperdente, i valori di f_r sono i seguenti:



Nel caso di accoppiamento telaio di finestra con muratura verticale il valore di f_r assume i seguenti valori:

- telaio posto all'interno
$$f_r = 1$$
- telaio posto all'esterno
$$f_r = 1$$
- telaio in posizione intermedia
$$f_r = 0.9$$



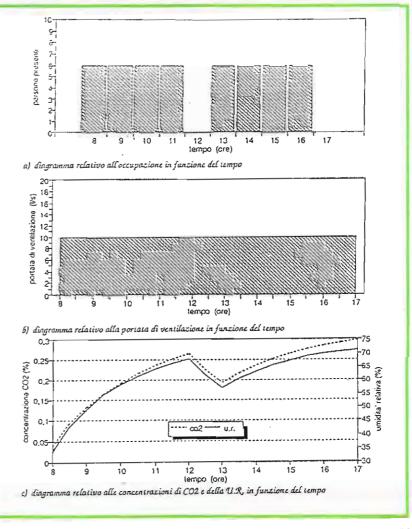


Fig. 10

Prof. Lorenzo Agnoletto

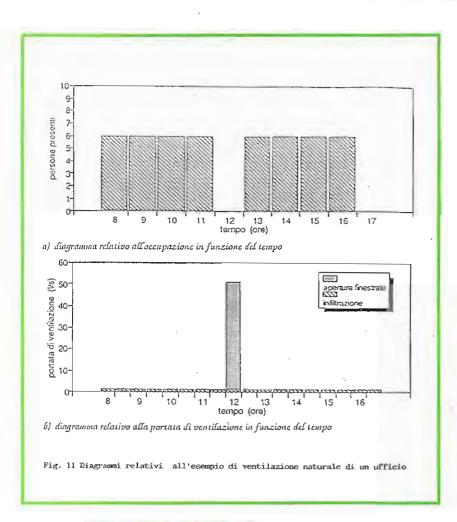
I valori di f_t calcolati con la procedura semplificata, nelle situazioni di ponte termico più comune, risultano sempre inferiori rispetto a quelli calcolati utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573-1992.

A titolo di esempio, per alcune situazioni sono di seguito riportati i valori di f₁ calcolati sia utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573- 1992, sia la procedura semplificata sopra riportata.

Giunto verticale d'angolo: Fattore di temperatura f_t in assenza di isolamento concentrato pareti costituite dallo stesso materiale

METODO APPROSSIMATO			
λ W/(m K)			
0,21	0,56	0,99	
0,69	0,56	0,47	
0,72	0,59	0,50	
0,75	0,66	0,58	

	METODO DETTAGLIATO			
(cim)	λ W/(m K)			
	0,21	0,56	0,99	
24	0,75	0,59	0,50	
30	0,78	0,62	0,53	
49	0,83	0,70	0,61	



Giunto verticale d'angolo: Fattore di temperatura f_t
in assenza di isolamento
concentrato: pareti costituite da materiali diversi

		METODO DETTAGLIATO		
CONDUTTIVITÀ DEI MATERIALI W/(m K)		SPESSORE DELLE PARETI		
	1	λ , 24		
30	49			
0.21	0,56	0,67	0,70	0,78
0,58	0,21	0,61	0.64	0,71
0,56	0,99	0,56	0,58	0,66
		O SEMPLI ORE DELLE (cm)		
24		RE DELLE		49
24 0,56		(cm)		49 0,66
_		(cm)		_
0,56		(cm) 30 0,60		0,66

Verifica della condensa interstiziale

Il metodo di calcolo considera le seguenti assunzioni:

- le condizioni al contorno sono stazionarie,
- il materiale non è igroscopico,
- il trasporto di vapore è governato dalle leggi della diffusione $g=\delta_p^{\alpha ir} \frac{\Delta p}{S_d}$

 $con Sd = \mu s$

dove :

 δ^{air} è la permeabilità dell'aria (2·10⁻¹⁰) kg/(m s Pa)

è il fattore di resistenza al vapore del materiale

è lo spessore del materiale

La quantità di vapore che condensa o di condensa che evapora (mesi estivi) deve essere calcolato mese per mese, assumendo per ciascun mese condizioni al contorno costanti.

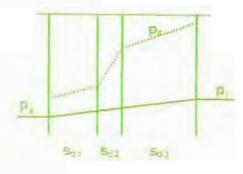
Procedura di calcolo

Per ciascun mese dell'anno, cominciando da Ottobre, si determinano le seguenti quantità:

- a) il valore medio mensile della temperatura dell'aria esterna,
- b) il valore medio mensile dell'umidità assoluta dell'aria interna,
- c) la pressione del vapore all'esterno,
- d) la pressione del vapore all'interno,
- e) le proprietà dei materiali costituenti i componenti edilizi,
- f) la resistenza termica (R) e lo spessore di diffusione equivalente (S_d) prima definiti per ciascun strato del componente edilizio,
- g) il profilo delle temperature in corrispondenza a ciascun superficie di separazione tra i vari strati,
- h) la pressione di saturazione del vapore in corrispondenza a ciascuna superficie relativa alle temperature calcolate al punto g).

Noti questi parametri si disegna l'andamento delle pressioni di saturazione in funzione del parametro S_d. Se non c'è condensa accumulata dal mese precedente, sullo stesso diagramma si riporta un segmento congiungente i valori dalla pressione di vapore all'interno e all'esterno. Se questa linea non intercetta quella di saturazione, non vi è presenza di condensa (Fig. 2).

La portata di vapore che attraversa il componente è pari a:



$$g = \frac{\delta_p^{cir}}{\sum \delta_p^{cir}} \cdot \frac{\{p_i - p_e\}}{\sum \delta_p^{cir}}$$

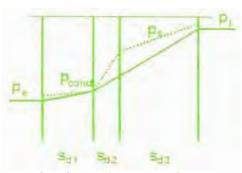
Se in almeno un punto le due linee si incrociano allora c'è presenza di condensazione. La linea della pressione del vapore sarà tangente a quella di saturazione in corrispondenza al punto dove le due linee si incontrano.

Normalmente la condensazione, quando avviene, si manifesta o in corrispondenza nella superficie di intersezione di due materiali diversi, oppure in una o più zone.

Nel primo caso si assume che in quella superficie la pressione del vapore sia pari a quella di saturazione almeno fino a che il condensato non è vaporizzato (Fig. 3).

Nel caso di condensazione su un'unica superficie, la portata di vapore che condensa è pari a:

$$g = \delta_p \stackrel{\text{oir}}{\sim} \left(\frac{(Pi - Pcond)}{sd2 + sd3} - \frac{(Pcond - Pe)}{sd1} \right)$$

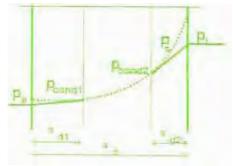


Nel secondo caso si assume che il condensato sia concentrato nel piano mediano dello strato. In questo caso la condizione di saturazione viene assunta in corrispondenza di questo piano mediano.

Una volta definite le zone in cui c'è saturazione, si calcola la quantità di vapore condensata o evaporata durante ciascun mese e si aggiunge o si sottrae a quella

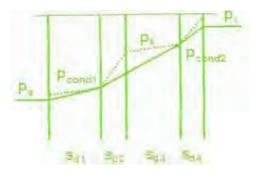
accumulata durante il mese precedente.

Nel caso di condensazione entro una zona (Fig. 4), la portata di vapore che condensa è pari a



$$g = \delta_p^{\text{air.}} \left(\frac{(P_i - P_{cond\cdot 2})}{S_{d2}} - \frac{(P_{cond\cdot 1} - P_e)}{S_{d1}} \right)$$

In un componente con più piani o zone di condensazione (Fig. 5) la portata di vapore che condensa in ogni zona è pari a:



tra la zona 1 e 2
$$g = \delta_p^{\text{ oir.}} \left\{ \frac{(P_{cond} \cdot 2 - P_{cond} \cdot 1)}{S_{d2} + S_{d3}} - \frac{(P_{cond} \cdot 1 - Pe)}{S_{d1}} \right\}$$

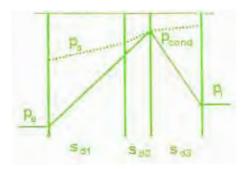
tra la zona 3 e 4

$$g = \delta_p \text{ air. } \left\{ \frac{\{P_{i-}P_{cond\cdot 2}\}}{S_{d4}} - \frac{\{P_{cond\cdot 2} - P_{cond\cdot 1}\}}{S_{d2} + S_{d3}} \right\}$$

Evaporazione

Appena c'è del condensato in corrispondenza di uno o più piani, la pressione del vapo-

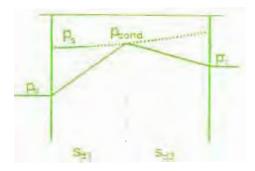
re sarà rappresentata da un segmento che unisce i valori che rappresentano la pressione del vapore all'interno, il piano di condensazione e la pressione del vapore esterna (Fig.5). Se la linea del profilo del vapore incrocia la curva di saturazione, la linea della pressione del vapore sarà disegnata come riportata nella Fig. 5.



La portata di condensato che evapora è determinata come:

$$g = \delta_p^{\text{ air.}} \left\{ \frac{(P_i - P_{cond})}{S_{d3}} - \frac{(P_{cond} - P_e)}{S_{d1} + S_{d2}} \right\}$$

Se in un componente c'è condensazione in una zona (Fig. 6), si assume che l'evaporazione avvenga dal piano centrale della zona. Se la zona di condensazione contiene una interfaccia, si assume che l'evaporazione cominci dall'interfaccia stessa.



La portata di condensato che evapora è determinata come:

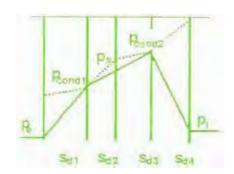
$$g = \delta_p \text{ air. } \left\{ \frac{\{P_i - P_{cond}\}}{S_{d2}} - \frac{\{P_{cond} - P_e\}}{S_{d1}} \right\}$$

In un componente nel quale la condensazione avviene su più piani o zone, la quantità di condensato che evapora viene calcolata per ciascun piano o zona separatamente (Fig. 7). La portata di condensa che evapora in ogni zona è pari a: tra la zona 1 e 2

$$g = \delta_{p} \text{ air. } \left\{ \frac{(P_{cond.2} - P_{cond.1})}{S_{d2} + S_{d3}} - \frac{(P_{cond.1} - P_{e})}{S_{d1}} \right\}$$

tra la zona 3 e 4

$$g = \delta_p^{\text{air.}} \left\{ \frac{(P_{i-}P_{cond.2})}{S_{d4}} - \frac{(P_{cond.2}-P_{cond.1})}{S_{d2}+S_{d3}} \right\}$$



Se la quantità di condensato alla fine del mese diventa negativa questo significa che la possibile quantità evaporata durante il mese supera quella accumulata. Il calcolo deve essere pertanto rifatto dividendo il mese in due periodi: il primo che coincide con quello per il quale si ha la completa evaporazione della quantità accumulata, il secondo nel quale si parte da materiale perfettamente secco. La lunghezza del primo periodo si determina come rapporto tra quantità di vapore accumulato sotto forma di condensa e quantità evaporabile nel mese:

$$t_{periodo} = \frac{W}{\Sigma g_{evap}}$$
 (13)

dove

t è la lunghezza del primo periodo

W è la quantità di condensa presente nel piano o zona

Σg_{evap} è la quantità di condensa evaporata nel piano o zona

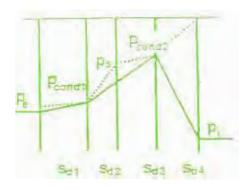
Evaporazione/condensazione

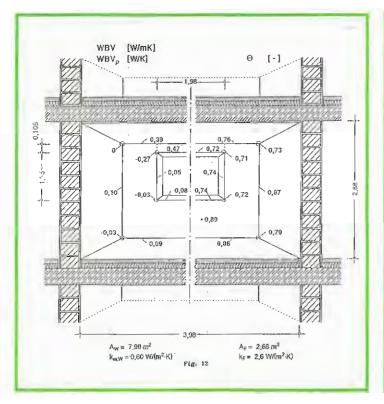
In un componente con una o più piano o zona di condensazione, potrebbero esserci dei mesi in cui si ha condensazione in un piano ed evaporazione in un altro (Fig.8). La quantità di condensato o evaporato è calcolata per ciascun piano separatamente: condensazione tra la zona 1 e 2

$$g = \delta_{p}^{\text{ oir}} \left\{ \frac{\{P_{cond.2} - P_{cond.1}\}}{S_{d2} + S_{d3}} - \frac{\{P_{cond.1} - P_{e}\}}{S_{d1}} \right\}$$

evaporazione tra la zona 3 e 4

$$g = \delta_p^{\text{oir.}} \left\{ \frac{(P_i - P_{cond.2})}{S_{d4}} - \frac{(P_{cond.2} - P_{cond.1})}{S_{d2} + S_{d3}} \right\}$$





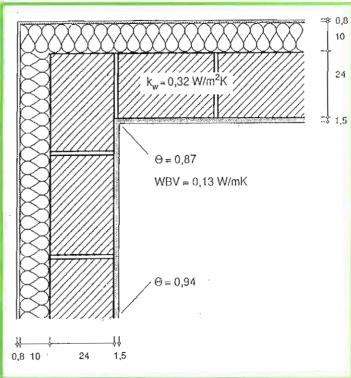
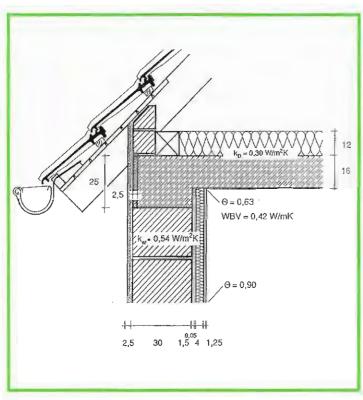


Fig. 12 Fig. 13



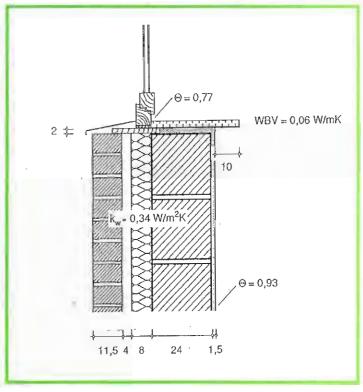
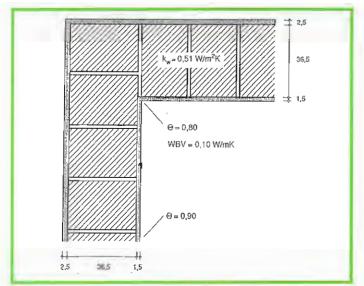


Fig. 14 Fig. 15



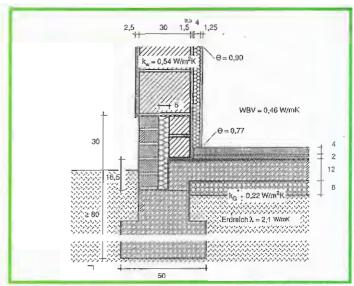


Fig. 16 Fig. 17

VERIFICA IGROMETRICA CONDIZIONI AL CONTORNO CONDIZIONE (PA) INVERNALE **ESTIVA** La struttura non e soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale e pari a ... p [Pa]: La struttura è soggetta a fenomeni di condensa, la quantità stagionale di condensato è pari akg/m2i tale guantità può rievaporare durante la stagione estiva. La siruttura non è soggetta a lenameni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione è quella reale è pari a A P [Pa]; LEGENDA Temperatura Interna lemperatura asterno Pressione parziale interna Pressione parziale esternaintema

Quantità da determinare

Dall'analisi dei dati sopra riportati bisogna evidenziare le seguenti quantità:

- a) la quantità di vapore che condensa durante il periodo invernale
- b) la quantità di condensa che evapora durante il periodo estivo
- c) la massima quantità di condensa che è accumulata in un componente edilizio

Per soddisfare gli adempimenti richiesti dal D.M.: del 13/12/93 è necessario che la quantità calcolata in a) risulti inferiore o al massimo uguale a quella calcolata in b). Talvolta risulta limitata anche la quantità massima accumulabile nel componente. In questo caso il valore determinato in c) deve risultare inferiore al valore limite imposto.

Vengono presentati in Figure 12, 13, 14, 15, 16, 17 alcuni esempi di punti singolari di un edificio con i relativi parametri che si deducono da un'analisi delle relazioni precedentemente riportate.

La Fig. 18 rappresenta invece una tabella da compilare da parte del progettista per la relazione necessaria al fine della concessione edilizia secondo quanto previsto dal relativo decreto ministeriale di attuazione.

Fig. 18

i requisiti e le norme europee e nazionali

Prof. Lorenzo Agnoletto

1. Introduzione

Gli operatori del settore edilizio e impiantistico - progettisti, costruttori e ricercatori - hanno dovuto confrontarsi, negli ultimi anni, con una crescente richiesta di conoscenze e di soluzioni tecnologiche in merito alla qualità dell'aria negli ambienti confinati. Il problema amplificato dell'evoluzione delle tecnologie costruttive e dell'esigenze di risparmio energetico, coinvolge un complesso di tematiche di natura medio-igienistica e tecnico-scientifica e ha evidenti riflessi sulla progettazione, soprattutto in relazione alla scelta delle tecnologie di involucro e delle tipologie di impianto di climatizzazione.

Il "disagio" degli operatori nei confronti di questi temi, evidente a chiunque operi nel settore, scaturisce da un lato da una sostanziale carenza di conoscenze sulle metodologie di calcolo e di verifiche sperimentale per la ventilazione, dall'altro dall'incompletezza del quadro normativo. Partendo da tali considerazioni, questa memoria si propone di fornire alcune informazioni sullo stato attuale della normativa e delle tecniche analitiche e strumentali utilizzabili per indagare i problemi di ventilazione degli edifici.

2. Il quadro normativo

Non esiste al momento in Italia una normativa completa sulla ventilazione, anche se prescrizioni che riguardano direttamente o indirettamente la ventilazione sono contenute in diverse disposizioni (leggi nazionali, regolamenti locali, norme tecniche, ecc.), alcune delle quali rivestono carattere obbligatorio: si pensi, ad esempio, ai regolamenti attuativi della legge 10/91 sul risparmio energetico nel riscaldamento, alle tabelle UNI-CIG recepite all'interno della legge 1083/71 sulla sicurezza degli impianti a gas, alle disposizioni relative a specifiche tipologie edilizie quali gli ospedali, le scuole, ecc. [1].

Per quanto riguarda la definizione dei dati di progetto sulla ventilazione, i principali riferimenti normativi sono contenuti, per gli edifici residenziali, nei regolamenti della legge 10/91 (in particolare nel DPR 412/93, emanato dal Ministero dell'Industria in attuazione dell'articolo 4 comma 4 della legge, e nella bozza di regolamento predisposta dal Ministero dei Lavori Pubblici in attuazione dei commi 1 e 2 del medesimo art. 4). Per quanto riguarda altre tipologie edilizie il riferimento più completo è costituito dalla recente norma UNI 10339 "Impianti aeraulici ai fini di benessere. Norme per la richiesta di offerta, l'offerta che specifica, tra l'altro, i valori raccomandati dalle quantità d'aria di rinnovo in funzione della tipologia di destinazione d'uso dell'edificio.

A livello internazionale sono disponibili numerose normative, fra cui si segnalano in particolare per la loro completezza la norma ASHRAE 62 "Ventilation for acceptable indoor air quality" e la norma DIN 1946. In ambito CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) è attivo da circa sette anni il comitato tecnico TC 156 "Ventilation and air conditioning", che attraverso l'operato di nove distinti gruppi di lavoro si propone di elaborare un complesso di norme europee relative a tutti i principali aspetti del problema: prescrizioni sulla progettazione, sulle caratteristiche dei componenti e dei sistemi, sull'installazione, l'esercizio e la conduzione degli impianti. L'Italia in quanto paese membro del CEN, è soggetta della così detta clausola di "stand still" che impone di astenersi dall'elaborare norme nazionali che riguardino argomenti trattati in ambito CEN. Fra le numerose bozze di norme elaborate in ambito CEN TC 156 si segnala il documento CEN prENV 1752 "Ventilation of buildings. Design Criteria for the Indoor Environment".

Tale proposta di norma (la cui prima versione è stata respinta nella primavera del 1995 da parte dei paesi interessati, ma che verrà riproposta in un'edizione modificata entro la fine dell'anno corrente) affronta la ventilazione secondo l'approccio "prestazionale" basato sulla teoria della valutazione soggettiva della qualità dell'aria proposta da P.O. Fanger. Il motivo principale di critica a tale proposta, causa ultima della sua bocciatura, è legato al fatto che sull'applicazione della metodologia proposta scaturiscono portate di

Metodi di calcolo e di verifica sperimentale per la ventilazione degli ambienti

Marco Masoero

aria di rinnovo considerevole superiori a quelle normalmente adottate in base agli standard attuali: è probabile che la nuova versione della proposta attenui sensibilmente tali differenze [2].

Merita puntualizzare che il dato progettuale "ricambio d'aria" può essere definito attraverso differenti criteri, sia di natura "prescrittiva" (in base ai quali vengono fissate le quantità d'aria richieste) sia di natura "prestazionale" (attraverso la definizione di uno standard di qualità dell'aria in termini oggettivi di concentrazione di inquinante o soggettivi di percentuale di insoddisfatti dal punto di vista della percezione qualitativa). Limitandoci in questa sede al dato prescrittivo, si precisa che la quantità d'aria di rinnovo può essere espressa in termini di:

- 1 Numero di volumi orari di ricambio; rappresenta il rapporto tra la portata in volume di aria esterna di rinnovo (in m³/h) e il volume (in m³) dell'ambiente. Tale parametro ha il pregio della semplicità e dell'immediatezza, ma è significativo solo per edifici che abbiano caratteristiche di occupazioni prevedibili e poco variabili.
- 2 Portata d'aria esterna di rinnovo per persona (in m³/h-persona o in L/s-persona); questo indicatore è sicuramente significativo, dal punto di vista igienistico, in tutti i casi in cui l'inquinamento indoor sia da attribuirsi essenzialmente alla presenza di persone.
- Portata di aria esterna per unità di superficie di pavimento (in L/s-m²); è il parametro utilizzato dal citato progetto di norma CEN prENV 1752: esso ha il pregio di tener conto anche delle emissioni inquinanti da parte di materiali ed arredi oltre che delle persone (della cui presenza si tiene implicitamente conto attraverso l'indice di affollamento del locale).

Esaminando l'evoluzione delle prescrizioni normative in materia di ricambi d'aria negli ultimi 25 anni si possono identificare tre periodi distinti. Fino alla metà degli anni '70 (ovvero prima della crisi petrolifera conseguente alla guerra di Kippur) i dati di ricambio d'aria erano basati sui risultati di studi igienistici sviluppati inizialmente in Germania alla fine del XIX secolo (Pettenkofer) e ripresi e ampliati soprattutto negli Stati Uniti nel periodo fra le due Guerre Mondiali (Yaglou) in sincronia con lo sviluppo dell'industria del condizionamento dell'aria. Da tali studi derivano in sostanza i classici indicatori di ricambio, quali gli 0,5 vol/h o i 30 m³h-persona che costituiscono i dati di riferimento normalmente utilizzati nella progettazione.

In conseguenza della crisi petrolifera e del diffondersi di politiche di risparmio energetico si è assistito a una diminuzione degli standard di ricambio dell'aria (come testimoniato ad esempio dall'edizione del 1981 dello standard ASHRAE 62).

A partire dalla metà degli anni '80, l'allentarsi dell'emergenza energia e l'accresciuta sensibilità per la qualità degli ambienti abitati hanno spinto verso una ridefinizione degli standard progettuali, che comporta non solo un incremento dei ricambi d'aria consigliati ma anche una rinnovata attenzione alle prescrizioni impiantistiche e, soprattutto, al controllo a monte delle fonti di emissione.

Un commento finale deve essere riservato alle grandezze normalmente utilizzate per qualificare le prestazioni dei sistemi di ventilazione. Le grandezze precedentemente definite hanno il significato di indicatori globali di ventilazione, in quanto dipendono esclusivamente dalla portata d'aria di ricambio e dalla dimensione dei locali. Esse non forniscono alcuna indicazione sulle modalità di distribuzione dell'aria e di diffusione degli inquinanti nell'ambiente e forniscono quindi informazioni molto parziali sulle effettive prestazioni di sistema. Per superare tali limitazioni sono stati introdotti numerosi altri indicatori (di distribuzione e di qualità dell'aria), per le quali si rimanda alla bibliografia [3].

3. La previsione a calcolo della ventilazione

La ventilazione degli edifici si può analizzare applicando al sistema edificio-impianto le leggi fondamentali della meccanica dei fluidi e della termodinamica. Data la complessità dei sistemi in esame e l'incompletezza dei dati normalmente disponibili, un approccio rigoroso al problema risulta scarsamente praticabile, anche se sono disponibili metodi di calcolo semplificati che possono fornire risultati adeguati per gli scopi del progettista. In termini generali i metodi di calcolo si possono classificare nelle sequenti categorie [4].

- Metodi di regressione; sono costituiti da modelli matematici basati sulla correlazione statistica fra dati (di origine sperimentale o derivati da simulazioni) e che prescindono dunque da una puntuale descrizione fisica del fenomeno; un esempio in tal senso è la procedura di calcolo dei ricambi d'aria per infiltrazione naturale descritta nell'appendice C della norma UNI 10344 "Calcolo del fabbisogno di energia normalizzato", metodo basato su un favoro di Fracastoro e Pagani [5].
- Metodi analitici a singola zona; determinano esclusivamente la portata globale di ricambio rappresentando l'edificio come una singola zona caratterizzata da un valore unico di pressione e temperatura (valori ovviamente diversi dai corrispondenti valori esterni); tale approccio è applicabile a edifici di piccole dimensioni (ad es. case unifamiliari) o di geometria semplice (ad es. capannoni industriali) in cui non si hanno suddivisioni interne che influenzano in modo apprezzabile i movimenti dell'aria. Sulla modellazione a singola zona è basato un metodo di calcolo recentemente proposto quale norma europea CEN TC 156/WG2/N203 "Calculation Methods for the Determination of air Flow Rates in Dwellings" [6].
- Metodi analitici multizona; secondo tale approccio l'edificio (ed eventualmente l'impianto) viene descritto come una rete fluidodinamica costituita da nodi (che rappresentano i singoli ambienti o zone dell'edificio), caratterizzati da un valore definito di pressione, temperatura ed, eventualmente, concentrazioni di inquinanti, connessi tra loro da rami (che rappresentano gli elementi di collegamento di natura edilizia o impiantistica) a cui si attribuisce un valore definito di portata. Tale approccio modellistico si presta anche allo studio della propagazione dei fumi in caso di incendio. L'analisi delle reti fluidodinamiche deve di regola essere effettuata attraverso codici di calcolo automatico; a questo riguardo merita una citazione il lavoro svolto nell'ambito dell' Agenzia Internazionale dell'Energia, a cui hanno partecipato anche ricercatori del Politecnico di Torino, che ha portato allo sviluppo del codice numerico COMIS [7].
- Metodi basati sulla fluidodinamica computazionale (CFD); la determinazione rigorosa della distribuzione spaziale delle grandezze di interesse (pressione, temperatura, velocità, ecc. deall'aria) richiede la risoluzione, attraverso opportune tecniche numeriche (differenze finite, volumi finiti, elementi finiti, ecc.), delle equazioni differenziali alle derivate parziali che descrivono i campi delle rilevanti grandezze scalari e vettoriali [8].
 - Tali metodi trovano applicazione, ad esempio, nello studio della distribuzione dell'aria negli ambienti o della diffusione di specie inquinanti a seguito di un rilascio accidentale (ad es., una fuga di gas da un apparecchio di cottura). L'applicazione dei metodi CFD è almeno per ora, ristretta al mondo industriale e a quello della ricerca, non solo per l'elevata capacità di calcolo richiesta, ma anche e soprattutto per l'intrinseca complessità e difficoltà di impiego di tali metodi, che richiedono competenze specialistiche in tema di fluidodinamica e di analisi numerica.

In sostanza si può affermare che il calcolo della ventilazione presuppone la conoscenza di due gruppi di dati fondamentali;

- La distribuzione di pressione dell'aria ed in particolare la differenza di pressione che
 agisce tra esterno ed interno dell'edificio per effetto combinato dell'azione del vento,
 della differenza di temperatura interno-esterno (effetto camino) e della presenza di
 apparecchi a combustione raccordati a condotti di evacuazione dei fumi e/o di specifici sistemi di ventilazione controllata (naturale o meccanica).
- Le caratteristiche di permeabilità dell'aria dell'involuro edilizio, che dipendono da numerosi fattori quali la tipologia e la modalità di posa dei serramenti, le caratteristiche dei sistemi di oscuramento e delle pareti opache, la presenza di specifiche aperture di ventilazione, ecc.

Quest'ultimo gruppo di dati presenta in genere il margine di incertezza massimo. Si pensi ad esempio al problema della definizione delle caratteristiche di permeabilità all'aria dei serramenti: se da un lato è pensabile di riferirsi ai dati della norma UNI 7979 (che suddivide i serramenti nelle classi di permeabilità A1, A2 e A3), permane comunque l'incertezza dovuta alla modalità di accoppiamento del telaio fisso con la parete dell'edificio. In assenza di specifici dati sperimentali, un riferimento utile per il reperimento di dati di letteratura è costituito dalla banca dati sviluppata dall'Air Infiltration and Ventilation Centre dell'Agenzia Internazionale dell'Energia [9].

4. Tecniche sperimentali

La verifica sperimentale in campo della ventilazione di un edificio riguarda tipicamente due tipologie di indagini [10]:

- La determinazione delle caratteristiche di permeabilità all'aria dell'involucro o di singoli componenti edilizi
- La misura del ricambio d'aria in condizioni effettive

Le analisi sulla permeabilità all'aria vengono di norma effettuate con l'ausilio di tecniche di pressurizzazione basate sull'impiego di apparecchiature appositamente predisposte o, dove possibile, dell'impianto di ventilazione stesso. Tra i sistemi di pressurizzazione riveste particolare interesse la cosiddetta "blower door", costituita da un telaio regolabile, in modo da potersi adattare al vano di una porta, sul quale è montato un ventilatore assiale a velocità variabile che consente di creare nell'ambiente una sovrapressione o depressione rispetto all'esterno dell'ordine di alcune decine di pascal (si noti che le differenze di pressione indotte da cause naturali non superano di norma i 10 Pa); misurando la portata d'aria movimentata dalla blower door per un congruo numero di valori della differenza di pressione si possono determinare i parametri dell'equazione di permeabilità dell'involucro [11].

L'impiego delle tecniche di pressurizzazione si presta alla valutazione in opera di interventi di ristrutturazione energetico-edilizia, all'individuazione di percorsi di infiltrazione d'aria o alla raccolta di dati di ingresso per i modelli di calcolo. Le principali difficoltà connesse con l'esecuzione di tali misure riguardano la sensibilità del risultato agli errori sistematici nel rilevamento dei valori di pressione e portata, più in generale sono, dovute alla ridotta ripetibilità delle misure.

La misura del ricambio d'aria di un ambiente può essere effettuata con il metodo dei gas traccianti, che consiste nell'immettere in ambiente quantità note di un gas normalmente non presente nell'aria (ad esempio il protossido di azoto o l'esalfluoruro di zolfo) e di

misurare l'andamento temporale della concentrazione in ambiente. Correlando opportunamente le quantità di tracciante immesse con l'andamento di concentrazione è possibile risalire al valore di ricambio d'aria [10,12].

Le tecniche dei gas traccianti si presentano anche all'esecuzione di misure relative agli impianti di ventilazione o di condizionamento dell'aria, soprattutto dove interessa determinare parametri, quali l'efficenza di ventilazione, che rappresenta le modalità di distribuzione dell'aria in ambiente e conseguentemente l'efficacia di rimozione degli inquinanti prodotti in ambiente [3].

L'esecuzione delle misure con i gas traccianti richiedono una strumentazione piuttosto sofisticata e comprendente un sistema di iniezione e distribuzione del tracciante in ambiente, un sistema di campionamento dell'aria, un analizzatore che consenta di misurare la concentrazione del tracciante e, infine, un microcomputer che controlli il sistema ed esegua l'elaborazione dei dati in tempo reale.

5. Conclusioni

La breve sintesi delineata nelle pagine precedenti fornisce un quadro sintetico dei principali sviluppi metodologici e normativi che si sono verificati negli ultimi anni nel settore della ventilazione, per quanto riguarda le metodologie di analisi numerica e sperimentale a disposizione dei professionisti del settore.

Si tratta in genere di strumenti di non facile applicazione, data l'intrinseca complessità dei fenomeni di termofluidodinamica che si verificano nel sistema edificio-impianto, il cui impiego è inevitabilmente destinato a specialisti in materia.

Anche per questo motivo assume particolare importanza lo sforzo di sviluppo di normative di calcolo, in corso in ambito CEN, e che mira a rendere disponibili ai professionisti procedure di calcolo più semplici ma sufficientemente affidabili e complete per poter rispondere alle esigenze del progetto.

6. Bibliografia

- M. Girard, M. Masoero. La ventilazione dei locali: l'aspetto normativo.
 CH_A Energia Metano, n. 5-1995, pp. 3-13
- 2. L. De Santoli et al. Normativa europea sulla ventilazione degli edifici.
- Il Condizionamento dell'Aria, n. 12, dicembre 1995, pp. 1256-1269.
- 3. G.V. Fracastoro, M. Perino. Sul significato e la misura di alcuni indici di ventilazione.
- Il Condizionamento dell'aria, n. 11, novembre 1995, pp. 1142-1153
- 4. M. Liddament. "Air Infiltration Calculation Manual". Air Infiltration and Ventilation Centre. International Energy Agency, Coventry, 1996.
- 5. G.V. Fracastoro, R. Pagani. Un modello sintetico per il calcolo delle infiltrazioni d'aria. Atti del 42° Congresso Nazionale ATI, Genova, 1987.
- 6. V. Dorer. The CEN Work on calculation methods for the Determination of Air Flow Rates in Dwellings. Air Infiltration Review, Vol. 17, NO. 2, Marzo 1996, pp. 1-3.
- 7. R. Borchellini, M. Calì, M. Torchio. Utilizzo di modelli di calcolo dei flussi di massa tra ambienti confinanti multizona. CH_A Energia Metano, n. 5-1994, pp. 29-36
- 8. E. Cafaro, G.V. Fracastoro II metodo della fluidodinamica numerica nello studio dei moti dell'aria all'interno degli edifici. Il Condizionamento dell'aria, n. 12, dicembre 1992, pp. 1696-1716.
- 9. D. Wilson. AIVC Numerical Database Component and Whole Building Leakage Database User Guide. Air Infiltration and Ventilation Centre. Coventry. 1982
- 10. P. Charlesworth. "Measurement Techniques Guide". Air Infiltration and Ventilation Centre. International Energy Agency, Coventry, 1988
- 11. M. Girard, M. Masoero. Caratterizzazione termica e fluidodinamica di due edifici "ad hoc" per la sperimentazione di apparecchi a gas.. CH_A Energia Metano, n 2-1993, pp. 16-23
- 12. R. Borchiellini, M. Calì. An Automated Apparatus for Air Infiltration Meassurements with Tracer Gases. Atti 11th AIVC Conference, Belgirate, pp. 157-169, 1990

La ventilazione domestica intelligente

Ing. Marcello Collantin

PERCHÈ VENTILARE?

I progressi raggiunti nell'edilizia hanno reso le abitazioni molto meglio isolate di prima.

Ma questo maggiore isolamento favorisce - negli alloggi nuovi come in quelli ristrutturati - un'umidità eccessiva con i seguenti inconvenienti:

condense, odori, rischi per la salute degli occupanti, degradazione dell'alloggio.

Lo scopo della ventilazione è di rinnovare sufficientemente l'aria per eliminare in permanenza gli inquinanti derivati dall' utente e dalle sue attività, in modo che l'inquinamento dell'aria del locale non sia pericoloso per la salute, che il comfort sia assicurato e che siano evitate le condense che generano danni all'alloggio.

I fabbisogni di ventilazione sono molto variabili da una stanza all'altra, da un momento ad un altro, da un alloggio ad un altro, perché derivano:

- dal numero degli occupanti, dalla loro ripartizione, dalle ore di presenza
- dalla temperatura e tasso di umidità in ogni stanza
- dalla temperatura e tasso di umidità esterni
- · dalla permeabilità dell'aria dell'alloggio

PRENDENDO IN CONSIDERAZIONE QUESTI ASPETTI OCCORRE PERMETTERE DI VENTILARE QUANDO E DOVE E' NECESSARIO CIQE' DI RINNOVARE L' ARIA A SECONDA DEI FABBISOGNI REALI, RISPARMIANDO L'ENERGIA SENZA RISCHI DI CONDENSE.

GLI INQUINANTI

Sono emessi di continuo:

- dal metabolismo degli abitanti:

respirando, l'uomo produce in un' ora 55 gr. d' acqua, 22 litri di anidride carbonica e emette odori.

- dalle loro attività:

il bucato, il lavaggio dei piatti e del suolo, la doccia,...producono una quantità considerevole di vapore d'acqua. La cottura degli alimenti emana forti odori e produce vapore acqueo e gas di combustione.

L'umidità, un male insidioso

L'analisi degli inquinanti per ogni tipo di stanza dimostra che le diverse emanazioni inquinanti sono tutte proporzionali alla quantità di vapore d'acqua emessa, tranne gli odori in WC ed in cucina.

L' odore é un inquinante facilmente individuato dall'utente, che sa reagire tempestivamente di iniziativa propria, azionando un sistema a comando manuale.

Il vapore acqueo, invece, è difficilmente percettibile dall'utente, che ne prende coscienza solo quando condensa, dunque quando è in eccesso.

Lo stesso avviene per le altre forme di inquinamento, che pure non vengono notate.

Prendiamo l'esempio di una camera occupata da due persone. In una notte, la coppia emette 800 grammi di vapore acqueo, 300 litri di anidride carbonica e diversi odori corporali. Soltanto al mattino - e dopo aver respirato l'aria pulita di un'altra stanza - gli occupanti si accorgono della scarsa qualità dell'aria della camera dove hanno trascorso la notte

Questo esempio classico illustra il fatto che l'utente non sa reagire tempestivamente sul rinnovamento della sua aria per gestire il tasso di inquinamento dell'aria del suo ambiente.

LA VENTILAZIONE DEVE DUNQUE FUNZIONARE IN MODO PERMANENTE E PRIVILEGIARE LE STANZE PIU' INQUINATE IN UN DATO DETERMINATO MOMENTO.
COME L'IGROMETRIA DI UNA STANZA E' RAPPRESENTATA DAL SUO GRADO DI
INQUINAMENTO, NE CONSEGUE CHE LA MISURA E L'ELIMINAZIONE
DEL VAPORE ACQUEO DEVE ESSERE FATTA DA UN SISTEMA CHE SAPPIA AGIRE
AUTOMATICAMENTE A SECONDA DELLE VARIAZIONI
DELL'UMIDITA' RELATIVA IN OGNI STANZA.

CONOSCETE LA NOCIVITA' DI UNA CATTIVA VENTILAZIONE SULLA VOSTRA SALUTE?

Una cattiva ventilazione può incidere sulla salute degli abitanti di un alloggio:
- mal di testa e nausee, per l'impoverimento di dell'ossigeno,
- atmosfera umida, che favorisce lo sviluppo di germi,
- umidità e polveri, che favoriscono la proliferazione degli acari.

CONOSCETE I DANNI PROVOCATI AL VOSTRO ALLOGGIO DA UNA CATTIVA VENTILAZIONE?

L'umidità è il nemico più insidioso delle abitazioni. Quando ci si accorge della sua presenza o piuttosto dei suoi danni, è spesso troppo tardi.

PRODUZIONE DI VAPORE ACQUEO IN GRAMMI PER ORA

CUCINA A GAS	400
PENTOLA IN EBOLLIZIONE	900
DOCCIA CALDA	2000
BAGNO CALDO	300
5 KG DI BIANCHERIA	
A ESSICCARE	200
TRASPIRAZIONE DI UNA PERS	ONA
- ATTIVITA' LEGGERA	100
- ATTIVITA' INTENSA	400
RESPIRAZIONE DI UNA PERSO	NA
- RIPOSO	55

La ventilazione a controllo di umidità

Partendo dalla costatazione che l'igrometria è il criterio principale di regolazione di una ventilazione intelligente, ALDES è il pioniere europeo della ventilazione a controllo di umidità.

Lanciato nel 1985 e costantemente perfezionato da allora - il sistema ALDES è già stato installato in più di 500.000 alloggi in Francia, Germania, Gran Bretagna, Austria, Olanda, Canada,

Italia.

Principio e funzionamento

L'aria fresca viene fatta entrare attraverso il soggiorno e le camere da letto, mentre l'aria viziata viene automaticamente estratta dalla cucina e dal bagno.

Il sistema ALDES è composta da:

• moduli di estrazione a controllo di umidità

installati nella cucina e nel bagno, determinano la portata d'aria totale estratta dall'abitazione

prese d'aria e controlli di umidità

installare nel soggiorno e nelle camere, distributori in ogni stanza principale l'entrata d'aria a seconda del grado di umidità di ognuna.

• ventilatore d'estrazione

funzionando in permanenza, silenzioso ed economico, garantisce il rinnovamento continuo dell'aria dell'abitazione a seconda del fabbisogno determinati dai moduli di estrazione

la bocchetta in cucina permette, all'iniziativa dell'utente, di ottenere una portata di punta che si aggiunge a quella determinata dall'igroregolazione.

Integrando le variazioni d'igrometria nell'alloggia, il sistema ALDES consente di:

- modulare in permanenza il rinnovamento dell'aria o seconda dei fabbisogni di igrene e di conifori degli utenti
- * risparmiare energia
- · prevenire : danni causati dalle candense

I vantaggi della ventilazione a controllo di umidità ALDES

Ventilazione intelligente, il sistema ALDES assicura una gestione ottimale ed interamente automatica delle portate di ventilazione, senza l'intervento dell'utente.

La complementarità tra i moduli d'estrazione e le prese d'aria a controllo d' umidità garantisce, in permanenza, il migliore compromesso tra

- i fabbisogni dell'ambiente
 - economia
 - comnfort e qualità dell'aria
- i fabbisogni dell'abitazione
- protezione contro le condense, macchie e muffe
- economia d'energia

Ventilare secondo necessità è risparmiare energia!

Ventilando solo quando e dove è necessario, la ventilazione a controllo di umidità ALDES permette di ottimizzare la quantità d'aria esterna da riscaldare immessa nell'abitazione.

In inverno e in mezza stagione, lo spreco di energia dovuto al riscaldamento inutile d'aria esterna in eccesso ai fabbisogni reali di rinnovamento d'aria dell'alloggio é così evitato.

Rispetto alla ventilazione classica a portata costante, che non prende in considerazione le variazioni d'igrometria, la ventilazione a controllo di umidità - grazie alla diminuzione dei ricambi d'aria - consente un risparmio energetico annuo fino al 60% del costo di riscaldamento dovuto ai ricambi d'aria.

- Comfort, igiene e qualità dell'aria.
- L'aria fresca entra per le prese d'aria situate nel soggiorno e nelle camere. Circola
 attraverso l'alloggio, dove si carica dell'umidità e dell'inquinamento ambiente. L'aria
 viziata viene allora evacuata attraverso i moduli d'estrazione installati nelle stanze
 più soggette ad umidità, odori ed inquinanti: WC, bagno, cucina.

• Eliminazione dei rischi di condensazione

I moduli d'estrazione e le prese d'aria modulano la portata d'aria in funzione dell'umidità di ogni stanza, evitando così la condensazione e l'apparizione di macchie, muffe, odore di chiuso.

Regolazione permanente ed automatica

Sistema completo ed intelligente, la ventilazione a controllo di umidità ALDES sa dosare se stessa il ricambio d'aria necessario nell'abitazione in ogni stanza, in ogni momento, in ogni stagione.

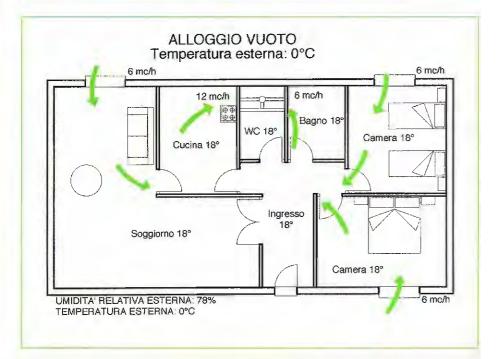
L'utente é così liberato da ogni pensiero di intervento o di regolazione.

Sistema di installazione e di utenza semplice

La ventilazione a controllo di umidità è tanto semplice da installare quanto una classica ventilazione meccanica.

Non necessità di nessun intervento da parte dell' utente per il suo funzionamento, ne di nessuna manutenzione particolare col passare del tempo.

RIASSUMENDO, ADATTANDO AUTOMATICAMENTE LE PORTATE D'ENTRATA
D'ARIA FRESCA E D'ESTRAZIONE D'ARIA VIZIATA AI FABBISOGNI REALI DI
RICAMBIO D'ARIA, LA VENTILAZIONE A CONTROLLO DI UMIDITÀ
ALDES "MIGLIORA L'IGIÈNE E IL COMFORT
"CONSERVA L'ABITAZIONE IN BUONO STATO
"RISPARMIA L'ENERGIA





ESEMPIO

Si può illustrare l'interesse di una ventilazione igroregolabile attraverso l'esempio seguente:

- alloggio di tre stanze principali occupato da 4 persone. Umidità media esterna 78% Le differenti situazioni sono tipiche dell'attività giornaliera in un appartamento.

SITUAZIONE 1

Alloggio vuoto temperatura interna omogenea 18^C.

L'analisi di questa situazione mostra la riduzione della portata globale di ventilazione quando non ci sono inquinanti specifici . In questo caso, la portata "IGRO" estratta è di 18 m³/h invece di 75 m³/h nel caso di una ventilazione meccanica controllata (VMCCM).

SITUAZIONE 2

Occupazione diurna, inquinanti in soggiorno, cucina e bagno.

L'analisi evidenzia l'adattazione automatica della ventilazione igroregolabile alla ripartizione degli inquinanti nell'alloggio.

SITUAZIONE 3

Occupazione notturna inquinamenti in camere, stagione invernale.

L'analisi dimostra l'interesse delle entrate d'aria a controllo di umidità che - in questo caso - danno la precedenza alla ventilazione delle camere occupate sul soggiorno vuoto.

OCCUPAZIONE NOTTURNA Temperatura esterna: 0°C INVERNO 14 mc/h 22 mc/h WC 18° Camera 21° UMIDITA' RELATIVA ESTERNA: 78% TEMPERATURA ESTERNA: 0°C

SITUAZIONE 4

Occupazione notturna, inquin'amenti in camere, mezza stagione.

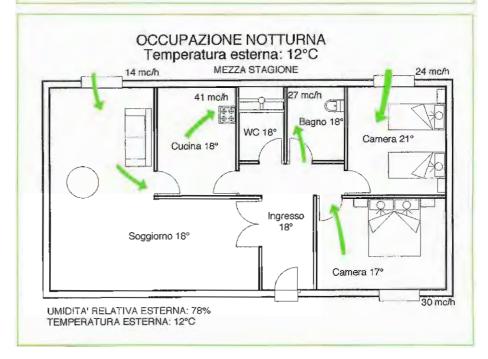
L'analisi evidenzia l'influenza della temperatura interna delle stanze e della temperatura esterna sulla ripartizione delle portate di ventilazione in ogni stanza.

I primi tre casi illustrano perfettamente l'interesse energetico della ventilazione igroregolabile.

Confrontata ad una VMC classica - che rinnova l'aria costantemente a 75 m³/h.

- La riduzione del volume d'aria esterna da riscaldare è la seguente:
- Caso 1:57 m³/h Caso 2:31 m³/h Caso 3:37 m³/h.

Il quarto caso evidenzia che i fabbisogni di ricambio dell'aria in una abitazione sono superiori in mezza stagione che in inverno. In questo caso la ventilazione igroregolabile assicura sia la portata globale necessaria che la sua giusta ripartizione a seconda delle stanze, e così garantisce igiene e qualità dell'aria agli abitanti.



Come abbiamo potuto vedere la legge 10/91 per quanto riguarda i paragrafi sulla ventilazione degli ambienti civili (cat.E 1) impone che questa venga progettata per verificare che il minimo ricambio d'aria sia 0,5 vol/h. medio nelle 24 ore.

(D.M. 12 XII 93 - UNI 10344).

Dall' uscita del nome UNI si è molto discusso a livello tecnico e parte degli addetti ai lavori continuano a sostenere che detti ricambi d'aria non devono essere progettati e che è sufficiente dichiarare il valore di 0,5 vol/h, sia come valore convenzionale che come valore di progetto della ventilazione.

Questi tecnici sostengono, inoltre, essendo consapevoli che in realtà detto ricambio naturale non esiste, conseguenza di un giusto utilizzo di serramenti a tenuta, che esso è otte-

nuto attraverso la famosa "massaia" normalizzata , la quale ha il compito di aprire le finestre per il ricambio dell'aria richiesto dalla legge.

Credo che un tale atteggiamento e cioé l'utilizzo di un sistema di uso comune, ereditato dalla sorpassata legge 373, continui a fare equivocare, e quello che è peggio a discapito della salute degli occupanti di alloggi costruiti secondo i nuovi criteri.

La normativa precedente la 373 che stabiliva i criteri tecnico costruttivi degli immobili, era la circolare del Ministero dei Lavori Pubblici nr. 3151 del 22 Maggio 67; ancora attuale.

In questa circolare veniva richiesto un sistema di V.M.C. autoregolabile per un ricambio pari ad 1 volume ora. Detto ricambio da ottenersi con la V.M.C. non è mai stato realizzato in nessuna abitazione, perché in effetti la permeabilità delle strutture e le infiltrazioni dai serramenti in legno assicuravano ampiamente il risultato. Più tardi con l'esigenza del risparmio energetico venne emanata la legge 373 che richiedeva 0,5 vol/h. da considerarsi convenzionali per il calcolo delle dispersioni.

Questo mezzo volume in realtà non è mai esistito a causa di nuove tecnologie che hanno permesso di realizzare serramenti a tenuta.

Cià ha dato origine ad una serie di problematiche a noi ben note (condense, muffe, abitazioni malsane).

La legge 10/91, ha voluto porre rimedio a questi problemi prescrivendo un valore convenzionale di 0,5 vol/h da impiegare solo per l'individuazione del F.E.N. limite, mentre a differenza di quanto stabilito dalla 373; e qui si vuole far nascere l'equivoco; la verifica della ventilazione deve essere eseguita calcolando le infiltrazioni naturali secondo le modalità descritte dalla norma UNI 10344. La quota di ricambio non assicurata dalla permeabilità dell'edificio non deve essere affidata al comportamento dell'utenza, ma ad un adeguato sistema di ventilazione.

Ora, in casi come questo ed in attesa che una circolare esplicativa dia ragione agli uni o agli altri, riteniamo faccia testo il buon senso, nel nostro caso le giuste considerazioni tecniche.

Occorre ventilare le abitazioni civili?

Due sono le ragioni tecniche:

- 1) Per limitare l'umidità ambiente.
- 2) Per limitare l'inquinamento ambiente.
- 1) Una persona in condizioni di riposo produce circa 55 g/h di vapore (traspirazione + respirazione).

Una stanza di 54 m³ (4x5x2,7) alla temperatura di 20° C al 50% di umidità relativa contiene circa 470 g. di vapore

Due persone che abitano in questa stanza per 4 ore producono 440 grammi di vapore che sammati a quelli esistenti danno 910 g. ossia 16,85 g/m³ che alla temperatura di 20^C corrispondono a 14 g/Kg. ed ad una umidità del 90%

Ora non riteniamo sia molto gradevole vivere in un ambiente con tale umidità, senza tenere conto che il vapore d'acqua comincerà a condensare sui vetri e sulle pareti creando nel tempo muffe, macchie sgradevoli alle pareti e certamente sensazioni di malessere agli occupanti.

Se poi tecnicamente vogliamo calcolare quanta aria esterna occorrerà per mantenere un'umidità relativa del 60%, valore ritenuto accettabile, è sufficiente fare il seguente calcolo:

N = W/(Xi - Xe)

N = ricambi ora

W = umidità prodotta per m³ e per ogni ora

Xi = umidità contenuta in aria ambiente a 20° C 60%

Xe = umidità contenuta in aria esterna a 5° C 80%

 $N = 2.03/\{10=2.4\}$

N1 = 0,26 ricambi/ora

pari a circa 14-15 mc/h

Il calcolo che abbiamo sviluppato deriva da imput riferiti a persone in riposo e quindi dati non cautelativi, basti pensare che nell' appartamento si siano eseguite, come normalmente avviene operazioni di cottura di cibi, lavaggio di indumenti, o di pulizia personale (docce, o bagni) per avere dati di produzione di vapore 3-4 volte superiori, anche se per brevi periodi.

Abbiamo, inoltre, considerato la temperatura dell'aria esterna a

-5° C con un contenuto di vapore d'acqua in grammi estremamente basso in rapporto alla temperatura media invernale.

2) Una persona a riposo produce 22 lt/h. di anidride carbonica.

Un ambiente è considerato salubre quando la concentrazione di anidride carbonica (CO_2) non supera la concentrazione di 1,5 lt/ m^3 .

Due persone che abitano la stessa stanza per 4 h. producono 176 lt. di CO2 pari circa a

3 lt/m³ riferito alla nostra stanza. Se poi consideriamo che normalmente in una camera da letto due persone dormono normalmente in media 8 h. a notte, la concentrazione di CO² può arrivare a valori di 6-7 lt/m³ circa 4 volte il valore ritenuto ideale.

Tenendo conto che l'aria esterna contiene mediamente 0,4 lt/m³ di CO² per mantenere le condizioni ideali occorrono 20 m³/h di aria esterna per persona

 $N = W/\{Xi - Xe\}$

N = Portata oraria

W = Produzione oraria di CO₂

Xi = Contenuto di CO₂ aria interna

Xe = Contenuto di CO₂ aria esterna

 $N = 22/(1.5 - 0.4) = 20 \text{ m}^3/\text{h}$

Anche in questo caso abbiamo considerato come imput solo l'anidride carbonica, e non abbiamo tenuto conto degli inquinanti interni, prodotti chimici derivati da lavaggi, lavastoviglie e lavatrici, formaldeide dai mobili, etc, etc.

Adesso che siamo venuti a conoscenza delle problematiche della qualità dell'aria interna, vorreste comunicare ai futuri clienti delle case da voi progettate e costruite che la loro futura dimora potrà essere dotata dei seguenti comnfort: vasca idromassaggio in ogni bagno, punto presa TV e telefono in ogni stanza, porta blindata e aria condizionata ma avrà anche un clima da cantina in ogni camera, soggiorno compreso, con una quantità di inquinanti 4-5 volte superiore a quelli ritenuti ideali alla salute!

E tutto questo alla modica cifra di 300-400 milioni attuali!

Non c'è bisogno di dirlo, no di certo.

L'utente se ne renderà presto conto da solo, e non credo che l'imprenditore che ha costruito, risparmiando sull'impianto di ventilazione, abbia a medio termine, fatto un affare.

Una considerazione sbagliata che a volte si ascolta dai non addetti ai lavori; è che l'impianto di ventilazione faccia spendere di più in riscaldamento.

Un alloggio senza impianto di ventilazione ha nel 90% dei casi un'umidità ambiente elevata; e che per scaldare un ambiente umido si consumano più calorie che in per un

ambiente secco e giustamente ventilato.

Le strutture perimetrali se sono umide disperdono più calorie verso l'esterno. Quindi una corretta ventilazione che mantenga un'umidità in casa con valori del 50-60% ci permette di costruire case più salubri, che consumano meno energie e nel rispetto delle norme vigenti.

I tre sistemi della ventilazione meccanica controllata

Sia nell'edilizia civile che per il terziario si possono adottare 3 differenti sistemi per la Ventilazione Meccanica:

- Ventilazione Meccanica controllata tradizionale;
- · Ventilazione Meccanica Igroregolabile
- Ventilazione Meccanica Controllata a doppio flusso con recupero di calore.

I tre diversi sistemi possono essere identificati per le varie tipologie di applicazione a seconda dell'esigenze e delle problematiche specifiche da risolvere.

E' chiaro che dovranno altresì essere valutate le differenti disponibilità per i budget di spesa nell'impianto, in quanto il costo del sistema varia notevolmente a seconda dell'impianto previsto.

Ventilazione Meccanica Controllata (tradizionale)

Questo sistema si basa sul controllo totale delle portate di ricambio aria calcolate in base al volume dell'ambiente con un brevetto di autoregolazione sui terminali di estrazione. In alcuni casi la portata fissa di questi terminali può essere variata manualmente con bocchette speciali o elettricamente con interruttori che agiscono sulla motorizzazione o sul terminale interessato.

Ventilazione Meccanica Igroregolabile

E' un sistema di ventilazione che consiste nella regolazione automatica delle portate di estrazione e di ingresso aria esterna, in funzione dell'umidità relativa presente all'interno dell'ambiente.

In questa situazione, il sistema assicura la portata di ventilazione per garantire un'umidità media del 50% in ogni ambiente durante il periodo di riscaldamento e nelle stagioni intermedie, quindi un risparmio energetico notevole in quanto si ventila solo quando c'é la necessità.

Anche in questo sistema, l'utente ha la possibilità di ottenere una ventilazione aggiuntiva intervenendo direttamente sui terminali.

Ventilazione Meccanica controllata a doppio flusso con recupero calore

E' lo stesso principio utilizzato nelle grandi unità di trattamento aria con recuperatore, che riportato alle dimensioni della civile abitazione, assicura rendimenti di recupero calore che superano il 60%-70% sul calore che andrebbe disperso.

In questo caso quindi il principio prevede che l'estrazione e l'immissione controllata dell'aria venga eseguita meccanicamente e canalizzata, facendo in modo che l'aria, mediante un gruppo di ventilazione a doppio flusso, scambi e recuperi calore attraverso le superfici incrociate dello scambiatore recuperatore di calore (aria - aria).

Come per la V.M.C. tradizionale le portate d'aria sono controllate mediante terminali autoregolanti con la possibilità di ottenere portate aggiuntive tramite accessori di tipo elettrico.

La funzione dei serramenti e dei sistemi di oscuramento esterno per la corretta ventilazione ed aerazione dell'edificio

Ing. Marco Piana

1. Introduzione e dati generali

La ventilazione dell'edificio rientra nell'elenco delle esigenze primarie.

L'abitazione, l'ufficio, l'industria vengono occupati da utenti che, al loro interno, svolgono attività con formazione di due elementi:

- umidità
- sostanze inquinanti

Queste devono essere asportate allontanandole verso l'ambiente esterno.

L'edificio quindi è un contenitore che delimita un volume in cui deve essere mantenuto un microclima ottimale per l'utilizzatore dello stesso.

Nel vasto mondo del microclima, la ventilazione riveste un momento fondamentale sia storico sia tecnologico.

Descrivere cosa sia la ventilazione negli ambienti chiusi non è problema di facile risoluzione e la trattazione dovrebbe abbracciare temi che esulerebbero dagli interessi specifici.

Gli edifici sono realizzati con parti opache e parti trasparenti ed il giunto fra queste parti è da sempre un elemento basilare.

La ventilazione primaria viene sempre realizzata, nella sua accezione più semplice, con l'apertura del serramento.

Questo viene lasciato in tale posizione per un periodo di tempo e poi viene richiuso e così rimane per la gran parte della giornata.

La ventilazione secondaria invece viene svolta dall'aria transitante dai giunti fra serramento e muratura, fra anta mobile ed anta fissa.

Un sistema alternativo di ventilazione, attuato in situazioni e latitudini particolari viene svolto dal sistema di oscuramento esterno (persiana od avvolgibile) mantenendo il serramento aperto in quanto la quantità d'aria transitante dal sistema permette una rudimentale forma di regolazione.

Il sistema oscurante in ogni caso può essere utilizzato in combinazione al serramento per limitare ulteriormente la ventilazione, soprattutto in situazioni con forte vento esterno.

Il flusso d'aria che transita da una fessura dipende da fattori quali la dimensione, la geometria e la differenza di pressione.

Per fessure in serramenti mal posati, solitamente il flusso d'aria è turbolento e la quantità d'aria che può transitare è data dalla relazione:

dove
$$Q = Cd \quad A \qquad \left(\frac{2}{\rho} \Delta P\right)^{1/2} \left(m^3/s\right)$$

$$Q = \text{flusso d'aria } \left(m^3/s\right)$$

$$Cd = \text{coefficiente}$$

$$\rho = \text{densità dell'aria } \left(kg/m^3\right)$$

$$\Delta P = \text{differenza di pressione } \left(Pa\right)$$

$$A = \text{area serramento } \left(m^2\right)$$

Nel caso in cui vi siano fessure molto strette come fra guarnizioni, la natura del flusso che transita è di tipo lineare ed è dominata dalla viscosità dell'aria e dalla differenza di pressione fra gli ambienti.

In questi casi la quantità di flusso è dato da:

$$Q = \frac{\Delta P}{8 \mu L} \pi R^4 (m^3/s)$$

 $\mu = viscosità dinamica$ (N s/m²

L = lunghezza giunto apribile (m)

R = raggio di apertura (m)

Componendo le due relazioni sopra riportate si giunge ad una semplificazione che tiene conto degli effetti descritti, ottenendo una equazione unica valida in varie situazioni:

$$Q = K(\Delta P)^n (m^3/s)$$

coefficiente di flusso (m²/s riferito a 1 Pa)

esponente di flusso (valori da 0,1 a 0,5)

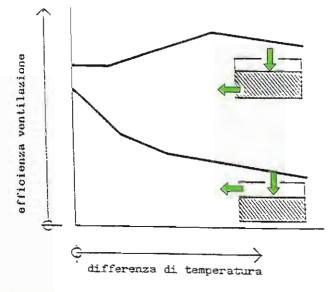
differenza di pressione (Pa)

La ventilazione può essere giudicata buona o scarsa mediante l'analisi di alcuni parametri che permettono di identificarne l'"Efficienza".

Una buona ventilazione si ottiene quando la miscelazione fra aria di rinnovo e aria ambiente è completa, mentre se ristagnano zone con scarsi ricambi si può parlare di inefficienza del sistema ventilante.

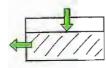
Nella definizione di efficienza della ventilazione vengono considerati tre tipologie di sistemi che garantiscono la miscelazione dell'aria.

- 1) Il primo sistema è il più efficace ed è definito come "flusso alternato" in cui l'aria di rinnovo va a contatto direttamente con l'aria ambiente in modo saltuario.
- Il secondo sistema è definito della "miscelazione perfetta" in cui l'aria di rinnovo si miscela in modo continuo con l'aria interna.
- Il terzo sistema è definito "impianto aspirante" in cui l'aria di rinnovo non si incontra con l'aria ambiente ma va a sostituirla in continuazione.



Nel grafico riportato il grado di efficienza della ventilazione in funzione del gradiente di temperatura fra ambiente interno ed esterno applicando ai locali con due sistemi differenti:

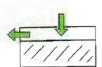
a) Ventilazione attraverso la zona di edificio occupata



zona non occupata zona occupata

b) Ventilazione attraverso la zona di edificio non occupata

aria espulsa

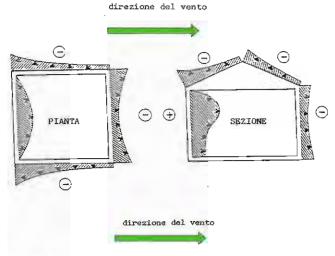


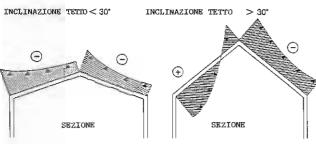
zona non occupata zona occupata

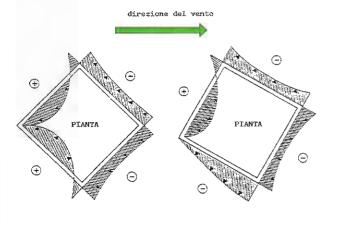
33

Le forze che guidano il ricambio d'aria sono di tipo naturale e meccanico:

- 1) forze naturali: vento e temperatura
- 2) forze meccaniche: ventilatori (non vengono presi qui in considerazione)









Azione del Vento

Tralasciando le considerazioni sulle statistiche inerenti a direzione, forza e fluttuazioni di cui si rimanda al paragrafo relativo alla normativa, è importante analizzare cosa avviene attorno all'edificio a causa del vento.

Urtando la superficie dell'edificio a pianta più o meno rettangolare il vento induce una pressione od una depressione in funzione al fatto che la superficie esposta sia sopravento o sottovento e ciò avviene in quanto gli spigoli dell'edificio separano il flusso ventoso.

Alcuni esempi possono essere qui riportati anche in relazione alle pressioni e depressioni indotte sulla superficie del tetto:

In generale si assume che la pressione del vento indotta su di una superficie dell'edificio sia rappresentata dalla relazione:

$$P = \frac{\rho}{2} Cp V^2$$

P = pressione dovuta al vento (Pa)

 $\rho = \text{densità aria} (\text{kg/m}^3)$

V = velocità del vento, media riferita ad una determinata altezza da terra (m/s)

Cp = coefficiente di pressione

Azione della temperatura (Effetto Camino)

A causa della differenza di temperatura e quindi per differenza di densità dell'aria fra ambiente interno ed ambiente esterno si instaura un gradiente verticale di pressione che produce una movimentazione di masse d'aria. Questo effetto definito "effetto camino" produce nel periodo invernale, l'effetto che l'aria fredda esterna entri nell'edificio e l'aria calda esca dallo stesso. Nel periodo estivo avviene l'effetto opposto.

L'aria fredda entra a livello basso mentre l'aria calda esce a livello alto dell'edificio o del locale.

Il livello in cui non si ha nessuna movimentazione di aria si definisce "piano di pressione neutro" o "asse neutro".

Le zone di infiltrazione e di fuoriuscita dell'aria sono normalmente i serramenti esterni ovvero attraverso la loro permeabilità all'aria.

L'effetto camino avviene nelle situazioni più diverse:

- in un unico ambiente con una sola finestra
- in edifici con locali comunicanti a più altezze
- in edifici con vari camini per l'estrazione dell'aria

Le conseguenze ed i significati della ventilazione naturale negli edifici sono molteplici e l'effetto camino riveste un interessante problema non trascurabile nella progettazione corretta anche se la ventilazione è di tipo meccanizzato.

Vengono riportati i casi più importanti di tipologie e di edifici in cui l'effetto camino può instaurarsi.

a) Effetto camino con distribuzione unifrme della temperatura interna.

La pressione dell'aria ad altezze diverse "Z" dal piano zero è data da:

$$Pz = P_0 - \rho g Z(Pa)$$

 P_0 = pressione a livello Z = 0

ρ = densità aria

g = accelerazione gravità

Z = altezza

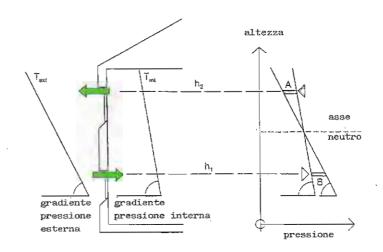
Il gradiente di pressione che provoca due aperture poste a diversa altezza su di una parete, viene descritto dalla relazione seguente:

$$Pc = -p \circ g \ 273 \ (h_2 \cdot h_1) \ \left[\frac{1}{Te} - \frac{1}{Ti} \right]$$

Te = temperatura assoluta esterna

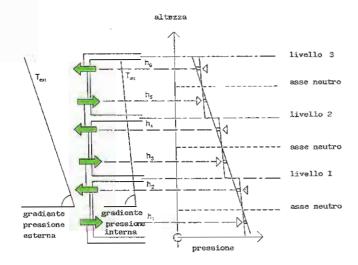
Ti = temperatura assoluta interna

po = densità aria a 273 k



b) Effetto camino in edificio con piani separati in modo impermeabile.

Ogni piano si comporta in modo simile al caso a) con proprio piano neutro e quindi si ottiene un andamento dato da:



c) Effetto camino in edificio con piani a differente temperatura comunicanti.

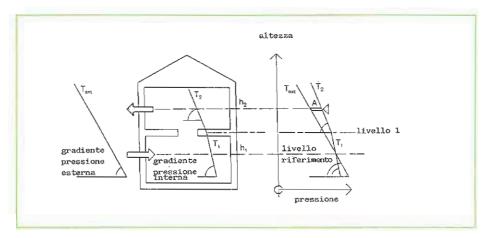
Non si avrà una distribuzione omogenea della temperatura ma si otterranno zone con temperatura differente.

Un esempio sono le abitazioni su due livelli in cui la temperatura viene mantenuta a livelli differenti (zona giorno a piano terra, zona notte al primo piano).

Si ottiene un gradiente di pressione dato da:

$$Pc = - \rho \circ g \ 273 \left\{ (L1 - h1) \left[\frac{1}{T1} - \frac{1}{Te} \right] + (h2 - L1) \left[\frac{1}{T2} - \frac{1}{Te} \right] \right\}$$

con riferimenti a:



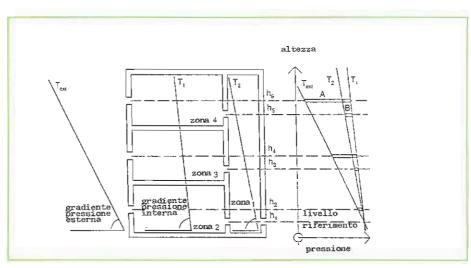
d) Effetto camino in edifici con piani aventi zone a differenti temperature.

E' il caso di edifici in cui sullo stesso piano esistono zone adibite a scopi differenti come uffici e ricevimento merci.

Il gradiente di pressione è dato da:

Pc =
$$-\rho \circ g \ 273 \ (h5 - h1) \ [\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}]$$

Con indicazioni date da:



e) Effetto camino in edificio con unica zona con stratificazione termica verticale.

E' il caso degli ampi ambienti dedicati ad attività industriali con apertura al tetto.

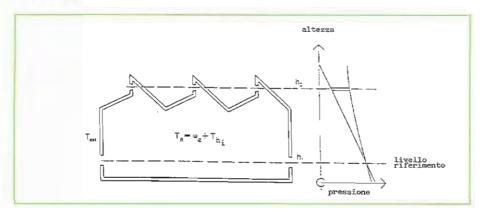
La stratificazione dell'aria è molto accentuata così come la differenza di temperatura fra pavimento e soffitto.

Il gradiente di pressione che si ottiene è dato da:

Pz = Po -
$$\rho_0$$
 g 273 $\left[\frac{1}{\omega} \operatorname{cn} \left(w z + T_{zo}\right)\right]$

ω = gradiente di temperatura (k/m)

con riferimento a:



Gli effetti sopra riportati dovuti a

- vento

- temperatura

devono essere sommati per ottenere un reale aspetto della ventilazione

P = Pv + Pc

Pv = pressione vento

Pc = pressione effetto camino

Una prima valutazione molto semplificativa di derivazione sperimentale induce a considerare che il valore delle infiltrazioni d'aria è dato da:

Q Tot =
$$(Q^2 + Q^2) 1/2 (m^3/s)$$

2. TIPOLOGIA DEI SERRAMENTI

Nella generalità dei casi ogni locale dispone di un serramento con le finalità di illuminare e di ventilare lo stesso ambiente. La grandezza del serramento deriva oggi dal rapporto illuminante che tutti i piani urbanistici e regolatori richiedono ovvero l'area della parte trasparente viene correlata con la superficie calpestabile del locale.

rapporto illuminante = superficie serramento superficie locale

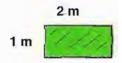
Nella quasi totalità dei casi invece non si considerano le ricadute per ciò che concerne la ventilazione dello stesso locale. Si devono quindi tenere in conto anche i seguenti parametri in funzione dell'utilizzo del locale:

maggiore superficie — maggiore lunghezza giunti apribili e fissi

La legge che lega la superficie con la lunghezza dei giunti non è lineare quindi:



superficie 1 m² lunghezza giunto apribile 4 m lunghezza giunto fisso 4 m



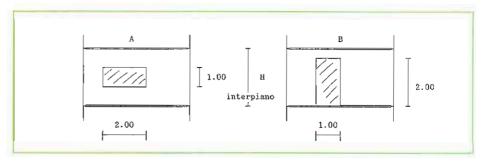
superficie 2 m²
lunghezza giunto apribile 6 m
lunghezza giunto fisso 6 m

Inoltre le tipologie del serramento interessano due aspetti di basilare importanza:

- posizione della finestra
- forma
- sistema di apertura

che influenzano l'illuminazione e la ventilazione del locale.

Si pensi ad un serramento di dimensioni 2.00 x 1.00 m posizionato nei due modi sotto riportati ed ai due locali che lo utilizzeranno:



Di certo il livello di illuminamento, il grado di ventilazione e l'efficacia della ventilazione saranno totalmente differenti e dovranno essere scelti ad esempio in base alla destinazione del locale.

Un terzo aspetto solitamente non considerato è rappresentato dal sistema di apertura del serramento.

I sistemi ad oggi maggiormente impiegati utilizzando componenti

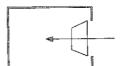
- di uso corrente sono:
- 1) apertura ad anta
- 2) apertura a vasistas (o a ribalta)
- 3) scorrevole

I tre sistemi possono essere combinati fra di loro attenendo come solito fare ad esempio per serramenti in PVC elementi con apertura ad anta - ribalta o scorrevole - ribalta.

Il primo sistema di apertura di un serramento è stato naturalmente ad anta che permetteva una ventilazione solo mediante l'apertura della stessa con l'aria di rinnovo che entra attraverso l'intera superficie.

L'introduzione della ribalta ha permesso un miglioramento notevole della ventilazione.

L'aria entra nel locale dalla parte alta dell'elemento miscelandosi con quella interna e unificando l'effetto di choc termico ed innestando una circolazione che dall'alto del locale scende gradualmente verso il basso per effetto di differenza di densità.





Lo scorrevole invece propone una sorta di ventilazione simile alla ribalta ma con asse verticale invece di orizzontale, ovvero la possibilità di parzializzare l'apertura dell'anta scorrevole permette all'utente di variare la quantità di ventilazione ma purtroppo per tutta l'altezza dell'elemento:



Ultimo parametro da porre nell'analisi è dovuto al grado di permeabilità all'aria che i tre sistemi di chiusura offrono e garantiscono.

Ing. Marco Piana

I sistemi di apertura sono realizzati mediante il montaggio di opportuna ferramenta sul telaio fisso o sul telaio mobile.

Inoltre ogni sistema garantisce le caratteristiche sino ad una determinata dimensione del serramento stesso. Quindi una finestra con dimensioni definite e con sistema di apertura differente creerà nell'ambiente una diversa ventilazione potendo presentare una differente classe di permeabilità all'aria.

3. Permeabilità all'aria e condizioni di impiego

Le condizioni in cui i serramenti si trovano ad operare sono definite dall'edificio in cui questi vengono installati.

La nuova normativa sul risparmio energetico (norma attuativa legge 10/91) impongono una verifica della situazione geomorfologica del terreno in cui l'edificio va a porsi.

Ovvero il progettista deve considerare l'orografia del terreno, la vegetazione circostante, l'altezza dell'edificio stesso, la ubicazione (zona urbana o non urbana), esposizione, grado di soleggiamento ecc. ecc..

Tutto questo permette senza dubbio di affermare che la scelta del grado di permeabilità del serramento può essere scelta in base a tutti i parametri sopra ricordati.

L' esempio più esplicativo è rappresentato dalla finestra che si dovrà installare sul lato nord o sul lato sud dell'edificio; dimensioni, sistemi di apertura, classe di permeabilità, altezza dal suolo, zona climatica, possono essere i parametri di base per una scelta razionale e ponderata.

Le infiltrazioni d'aria che provengono dal serramento possono essere quantificate e dipenderanno quindi dai fattori sopra ricordati.

Le infiltrazioni d'aria attraverso il serramento sono quantificabili mediante relazione:

$$Q = A C \Delta P \qquad (m^3/h)$$

dove: A = area serramento (m²)

C = coefficiente

 Δ P = differenza di pressione fra i due lati del serramento

E' di più facile utilizzo se viene introdotto un indice "a" che identifica la quantità di aria che filtra attraverso 1 m² di serramento con una differenza di pressione $\Delta P = 100 \, \text{Pa}$, i valori di "a" sono riportati in Tabella 1.

La differenza di pressione Δ P è generata da due cause principali:

- vento
- tiraggio termico.

Basandosi su studi sperimentali sono state ricavate le espressioni di Q, rispettivamente in funzione della velocità del vento v (m/s) alla sommità dell'edificio e in funzione della differenza di temperatura Δ T (C) fra interno ed esterno e della altezza massima H (m) rispetto alla zona neutra (livello al quale il Δ P di tiraggio è nullo)

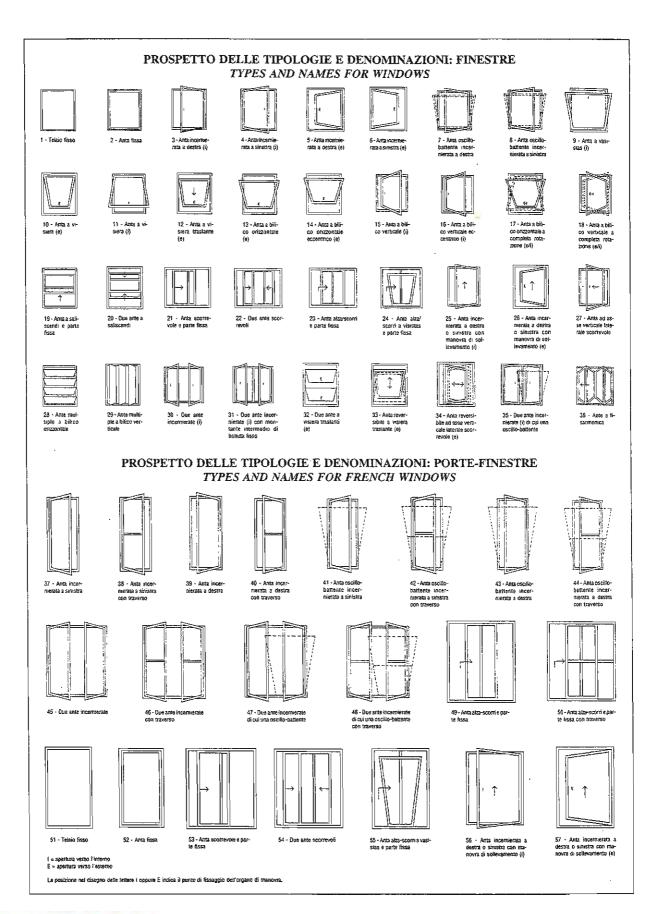
$$Q_{V} \cong 0.012 \text{ a A V}^{1.3}$$

 $Q_{t} \cong 0.001 \text{ a A (H } \Delta T)^{0.65}$

La prima relazione ipotizza una uniforme ripartizione dei serramenti fra facciata sopraventto e sottovento e media approssimativamente gli effetti lungo l'altezza e la larghezza dell'edifficio e fra i diversi angoli di incidenza del vento e fornisce quindi un valore di primo orientamento che, quando il caso lo giustifichi, dovrà essere affinato per tenere conto della forma effettiva e dell'orientamento rispetto ai venti dominanti.

Per la seconda relazione si deve notare che l'altezza H dipende dalla efficacia della compartizione orizzontale dell'edificio, per un edificio ad appartamenti H può essere assumita pari a metà dell'altezza di piano, se negli appartamenti non vi sono camini.

Le due quantità Q_V e Q_{\dagger} non possono essere semplicemente sommate. Deve essere utilizzatta la seguente relazione per le infiltrazioni risultanti



$$Q_{vt} = Q_{magg} [1 + 0.24 (\frac{Q_{min}}{Q_{magg}})^{0.33}]$$

dove Qmagg e Qmin sono rispettivamente la maggiore e la minore delle due quantità Q_v e Q_t.

In generale è Q_v la quantità maggiore, quindi in definitiva la possibilità di usare queste relazioni per una verifica delle infiltrazioni d'aria dipende dalla conoscenza della velocità del vento V.

Per tale valore si utilizza la suddivisione del territorio italiano in zone di vento proposta dalla norma UNI-CNR 10012, con i valori caratteristici invernali riportati in tabella 2.

Questi valori si riferiscono a situazioni di aperta campagna a 10 ml dal suolo. Per esposizione più protetta, come il centro delle grandi città, si possono considerare valori di velocità di 2/3 di quelli riportati, valori intermedi valgono per piccoli agglomerati, suburbi, campagna con ostacoli.

Per tener conto poi dell'altezza, si usa una relazione del tipo

$$V = V_{10} \left(\frac{H}{10} \right) \gamma$$

essendo V₁₀ la velocità a 10 m dal suolo, Η l'altezza in m. dell'edificio e γ un esponente che, vale

- per campagna	$\gamma = 0.17$
- per suburbi, ecc.	$\gamma = 0.25$
- per centro città	$\gamma = 0.33$

I valori di tabella 3 derivano da un'analisi statistica dei dati rispetto all'altezza dell'edificio ed alla zona di vento in cui si trova lo stesso.

Partendo da tabella 3 è possibile, usando le relazioni precedenti, calcolare le infiltrazioni dell'edificio e quindi verificare se, nella situazione che ha probabilità sopra detta, la potenza termica disponibile per il rinnovo dell'aria è sufficiente.

Questo calcolo è stato eseguito per un serramento di superficie A = 1 m² ed una permeabilità a=1, la tabella 4 riporta questi valori q₁ delle infiltrazioni unitarie limite. Quelle effettive dell'edificio saranno quindi:

$$Q = q_i \alpha A$$
 m^3/h

Il calcolo è stato fatto per H=1,5 m e $\Delta T=25$ °C; queste condizioni valgono per appartamenti ben compartimentati nel clima dell'Italia settentrionale, ma, data la scarsa influenza del tiraggio sulle infiltrazioni totali in questo caso, i risultati possono essere anche usati altrove.

In modo analogo, dalle relazioni riportate è stata

TABELLA 1

COEFFICIENTI

DI PERMEABILITA' ALL'ARIA DI SERRAMENTI E GIUNTI VARI

(VALORI GRIENTATIVI DELLE INFILTRAZIONI IN m²/H a 100 Pa DI

P)

	PER m ² DI SERRAMENTO
SERRAMENTI DI CLASSE A3	
SERRAMENTI DI CLASSE A2	20
SERRAMENTI DI CLASSE AI	50
SERRAMENTI NON CLASSIFICABILI	
(GENERALMENTE SENZA GUARNIZ.)	100
CASSONETTI CON GUARNIZ. ACCURATE	1,5
CASSONETTI CON GUARNIZIONI CORRENTI	7
CASSONETTI SENZA GUARNIZIONI	15
GIUNTI FRA SERRAMENTO E MURATURA,	
ESECUZIONE ACCURATA (APPLICAZIONE DI	
GUARNIZIONI SPECIFICHE E SIGILLANTI)	3
GIUNTI FRA SERRAMENTO E MURATURA ESECUZ	
CORRENTE CON SIGILLATURA	12
GIUNTI FRA SERRAMENTO E MURATURA	
ESECUZIONE TRASCURATA SENZA SIGILLATURA	60

ESEMPIO: SERRAMENTO DI CLASSE AZ A 2 ANTE VERTICALI, CON CASSO-NETTO, CON GUARNIZIONI CORRENTI E GIUNTI FRA SERRAMENTO E MURATURA IN ESECUZIONE CORRENTE CON SIGILLATURA. ALTEZZA 1,6 m; LARGHEZZA 1,4 m; SUPERFICIE 2,24 m₂, SVILUPPO DEI

GIUNTI APRIBILI 7,6 m; DEI GIUNTI FISSI 6 m.

PERMEABILITÀ RIFERITA ALLA SUPERFICIE

 $A = 20 + 7 + 12 = 39 \text{ m}3/\text{m}^2 \text{ H}$

TABELLA 2 VALORI MEDI CARATTERISTICI DELLA VENTOSITÀ INVERNALE

ZONA	VELOCITĂ MEDIA m/S	CALME (1) %	VELOCITÀ MEDIA ESCLUSE LE CALME m/5	VELOCITÀ CHE HA 1% DI PROBABILITÀ DI ESSERE SUPER
1	0,6	80	-3	5,4
2-3	4,1	25	-5,5	12.2
4	7,2	10	-8	18.5

(T) SI DEFINISCE "CALMA" IL PERIODO V - I NODO

TABELLA 3 VELOCITÀ INVERNALI DEL VENTO (m/5) VELOCITÀ CHE HANNO LA PROBABILITÀ DELL'1% DI ESSERE SUPERATI

		ALTE	ZA DELL'I	DIFICIO (m)
	10	20	30	50	100
ZONA DI VENTO 1					
- CAMPAGNA APERTA	5,4	6,1	6,5	7.1	8,0
- SUBURBIO	4,5	5,4	5,9	6,7	8,0
- CENTRO CITTÀ	3,6	4,5	5,2	6,1	7,7
ZONE DI VENTO 2 E 3 - CAMPAGNA APERTA - SUBURBIO	12,2 10,2	13,7 12,1	14,7 13,4	16,0 15,3	8,0 18,1
- CENTRO CITTÀ ZONA DI VENTO 4	8,1	10,2	11,6	13,8	17,3
- CAMPAGNA APERTA	18,5	20,8	22,3	24,3	27,4

TABELLA 4

INFILTRAZIONI LIMITE Q ATTRAVERSO UN'AREA DI SERRAMENTO A = 1 m² CON COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ α = 1 NELLE CONDIZIONI DI VENTO LIMITE E PER Δ T = 25 °C

			ALTEZ	ZA DELL'E	DIFICIO (m)
	10	20	30	50	100
ZONA DI VENTO I					
CAMPAGNA APERTA	0,11	0,13	0,14	0,16	0,21
- SUBURBIO	0.09	0,11	0.13	0.15	0,21
CENTRO CITTÀ	0,07	0.09	0,11	0,14	0,20
ZONE DI VENTO 2 E 3					
- CAMPAGNA APERTA	0,31	0,36	0,40	0,44	0,52
- SUBURBIO	0,25	0,31	0,35	0,42	.0,52
- CENTRO CITTÀ	0,18	0,25	0,29	0,37	0,49
ZONA DI VENTO 4					
- CAMPAGNA APERTA	0,53	0,62	86,0	0,76	0.89

ricavata anche una espressione del consumo energetico stagionale dovuto alle infiltrazioni d'aria:

 $E = e \ a \ A \ D$ Wh/stagioni

dove \underline{e} è la quantità di energia (in Wh/m² grado giorno) che, nelle diverse condizioni di vento, ma nelle condizioni di tiraggio prima dette, è necessario per innalzare 1°C la temperatura della quantità di aria che in un giorno passa attraverso 1 m di serramento di permeabilità a = 1, D sono i gradi giorno della località.

Il calcolo è stato eseguito per D 2450 GG ed una durata di riscaldamento di 180 gg, ma si è verificato che il valore di <u>e</u> rapportato al grado giorno non è quasi influenzato dal variare dei dati climatici.

La tabella 5 riporta questi valori di e.

Quindi risulta immediato il calcolo di energia dispersa realmente per infiltrazioni di aria da serramenti esterni.

4. Normative e legislazioni

In merito alla ventilazione degli ambienti ed alla permeabilità dei serramenti possono essere analizzate alcune norme o leggi specifiche.

Nel contesto del presente incontro vengono analizzati alcuni regolamenti inerenti ai serramenti ed ai sistemi di oscuramento esterno:

- a) Norma UNI10012
 Ipotesi di carico sulle costruzioni.
- b) Decreto 13/12/93
 Relazione tecnica secondo legge 10/91 sul risparmio energetico
- c) Norme CEN di prossima pubblicazione.

Norma UNI 10012

Permette di definire la pressione del vento in funzione del sito di edificazione, dell'altezza e della forma della costruzione.

Le azioni statiche del vento, la cui direzione si considera orizzontale, si traducono in pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne sia interne, degli elementi che compongono la costruzione. In quanto segue si assumeranno positive le pressioni, negative le depressioni.

Per determinare l'azione sul singolo elemento si considera la combinazione più gravosa della pressione P_e,

agente sulla superficie esterna, e della pressione p_{i,} agente sulla superficie interna dell'e-

L'azione di insieme esercitata dal vento su di una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando di norma, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri reticolari, deve considerarsi anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

Le pressioni sono date dalla espressione:

P = c k q

dove:

q è la pressione cinetica esercitata dal vento;

- k è il coefficiente di snellezza;
- c è il coefficiente di esposizione e di forma.
- Pressione cinetica q.

La pressione cinetica per altezze a 20 m dal suolo assume di norma i valori indicati nel prospetto relativamente alle quattro zone in cui convenzionalmente è stata divisa l'Italia. Tali valori possono essere variati, i casi particolari, se le condizioni locali di clima e di esposizione appaiono giustificatamente differenziate rispetto alle condizioni medie di ventosità della zona.

Zona	1	2	3	4
q ²⁰ Kg/m ²	60	80	100	120

La divisione delle zone corrisponde alla descrizione seguente:

- **Zona 1** Entroterra della regione A a quote minori di 500 m e della regione B a quote minori di 300 m;
- **Zona 2** Fascia costiera della regione B; fascia subcostiera della regione A; entroterra della regione A a quote tra 500 e 1200 m., della regione B a quote tra 300 e 800 m e della regione C a quote minori di 800 m;
- Zona 3 Fasce costiere delle regioni A, C e D; di entroterra delle regioni D ed E a quote fino a 800 m; entroterra della regione A a quote tra 1200 e 2000 m; entroterra delle regioni B e C a quote tra 800 e 1500 m;
- **Zona 4** Fascia costiera della regione E; entroterra della regione A a quote maggiori di 2000 m; entroterra B e C a quote maggiori di 1500 m; entroterra delle regioni D ed E a quote maggiori di 800 m; indicando con:

Fascia costiera, quella che comprende le località a distanza dal mare minore di 20 km e non schermate da un crinale montano:

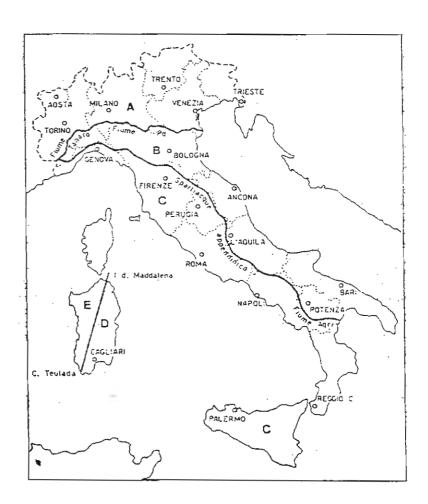
Entroterra, le località a distanza dal mare maggiore di 20 km per le regioni B, C, D ed E e maggiore di 40 km per la regione A;

Fascia subcostiera, compresa fra 20 e 40 km di distanza dal mare, limitatamente alla regione A.

Per gli edifici di altezza massima H non superiore a 10 m si deve adottare una pressione cinetica uniforme pari a:

Per gli edifici di altezza massima H compresa fra 10 e 20 m si deve adottare una pressione cinetica uniforme sull'al-

	TV	ABELLA 5			
DISPERSIONI PER INFILTI SERRAMENTO DI PERME	RAZIONE	E (WH/m	2 GRADO		
	_	A	LTEZZA D	ELL'EDIFIC	10 (m)
	10	20	30	50	100
ZONA DI VENTO I					
- CAMPAGNA APERTA	0,25	0,36	0,46	0,62	0,94
- SUBURBIO	0,23	0,35	0,45	0,61	0,94
CENTRO CITTÁ	0,22	0,34	0,44	0,60	0,94
ZONE DI VENTO 2 E 3					
- CAMPAGNA APERTA	0,74	0,89	0,98	1,14	1,44
- SUBURBIO	0,60	0,73	0,90	1,09	1,44
CENTRO CITTÀ	0,47	0,65	0,78	0.99	1,44
ZONA DI VENTO 4					
- CAMPAGNA APERTA	1,36	1,60	1,75	1,99	2,34
SUBURBIO	1,09	1,27	1,59	7,84	2,34
CENTRO CITTÀ	0.91	1.10	1 20	1.42	2.01



tezza pari a:

$$\frac{H + 20}{40}$$
 q²⁰ (H in m)

Per gli edifici di altezza massima H superiore a 20 m, si deve adottare una pressione cinetica pari a q²⁰ per le parti di edificio sino a 20 m. Per le parti ad altezza h (in m) maggiore di 20 si deve adottare una pressione cinetica pari a:

$$q^{20} += 60 \frac{h - 20}{100} (kg/m^2)$$

sino al valore h = 100; per le parti superiori la pressione cinetica rimane costante.

Coefficiente di snellezza K.

Le costruzioni assimilabili a parallelepipedi o cilindri si intendono caratterizzate da un coefficiente di snellezza K, pari a:

$$K = 1$$

$$K = 1 + 0.5 \left(1 - \frac{6b}{H}\right)$$

$$per \frac{H}{b} < 6$$

$$per \frac{H}{b} > 6$$

essendo H l'altezza, e b la minore delle dimensioni in pianta.

Coefficienti di esposizione e di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate, curve.

Per la valutazione della pressione esterna, e per superfici di area maggiore di 15 m^{2,} si

 $^{\circ}$ per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento) con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^{\circ}$:

$$c_{e=+} 0.8$$

- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale 20° < α < 60°:

$$c_{\rm p} = 0.03 \alpha - 1 (\alpha \text{ in gradi});$$

- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale

 $0^{\circ} \le \alpha \le 20^{\circ}$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente):

$$c_{e} = -0.4$$

Per la valutazione della pressione interna, e per superfici di area maggiore di 15 m², si deve assumere

per costruzioni completamente stagne:

$$c_i = 0$$

- per costruzioni noncompletamente stagne:

 $c_i = \pm 0.2$ (scegliendo il segno che dà luogo alla combinazione più sfavorevole);

- per costruzioni che hanno una parete con apertura di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

ci = +0,8 quando la parete aperta è sopravento

c; = - 0,5 quando la parete aperta è sottovento o parallela al vento;

- per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

 $c_e + c_i = \pm 1$,/2 per gli elementi normali alla direzione del vento,

 $c_i = \pm 0.2$ per i rimanenti elementi.

DECRETO 13/12/93

Il decreto riporta lo schema della relazione che deve essere consegnata agli uffici competenti comunali per il rilascio della concessione edilizia. La relazione riporta quanto necessario per stabilire i consumi e le potenzialità necessarie per l'impianto di riscaldamento. Inoltre prevede che il progettista venga in possesso dei dati di permeabilità all'a-

e di sistemi di oscuramento esterno per calcolare i disperdimenti energetici e le infiltrazioni d'aria. Vengono riportati i moduli inerenti solo a quanto di pertinenza.

TIPO DI (COMPONENTE (*)		IL TERMICITE D	DEI COMPONE	enti finestrati d		COMPONENT	Е
DES	CRIZIONE	AG(M ²)	A _F (M ²)	re (W)	Kg (W/M ² K)	KF (W/M2K)	KILIW/MKI	K _{W(W/M²K)}
	AMENTO NGOLO							
	OPPIO MENTO E/O							
COM	IBINATO							
	a unitaria ale interna (**)						ttanza unitaria iciale interna	
	a unitaria ale esterna (**)						ttanza unitaria iciale esterna	
	NZA TERMICA ALE (***)					TRA	SMITTANZA TOTALE	
LEGENDA	4							
Ag Af Lg Kg	Area del vetro Area del telaio Lunghezza perime Trasmittanza term	-			K _I Tras	smittanza termico smittanza lineica smittanza termico	(nulla in caso d	-
(*) (***)	Specificare il tipo Inverso della trasn			:. (**)	Inverso, delle	conduttanze un	itarie superficial	i
servito d	IPALI RISULTATI DE allo stesso impianto teristiche termiche	o)		•	er ciascun edificio	,		
f 4 Coeff	iciente volumico C	d di progetto			_W/m3K			
f 5 Coeff	iciente volumico C	d (valore mass	imo consentito)	_W/m3K			

f 6 Numeri di ricambi d'aria (media nelle 24 ore)

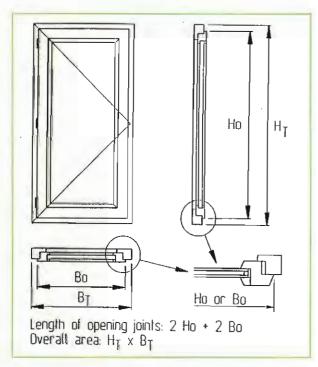


7 Portata d'aria di ricambio



Tabella dei tipi di serramento secondo la classe di permeabilità all' aria UNI 7979

CLASSE	PERMEABILITA	DIFFERENZA DI PRESSIONE PA	RIFERIMENTO ALLA LUNGHEZZA (M) DEI GIUNTI APRIBILI. PORTATA D'ARIA M ³ / (H M)	riferimento alla superficie Apribile (m²). Portata d'Aria m³/(h m²)
Al	ALTA	150	8.12-16	26-62
A2	MEDIA	150	2.7-8.2	9-26
A3	BASSA	150	0-27	0.9



150 Pa é la pressione dinamica che corrisponde a 15,8 m/s. Descrivere l'eventuale sistema di ventilazione controllata:

esempio:

impianto centralizzato di ventilazione composto da canali di mandata e di ripresa, senza ricircolo d' aria, con batterie per il preriscaldamento dell'aria immessa.

NORMA CEN

I dati riportati sono il risultato della sintesi delle bozze preliminari della normativa CEN (Ente di Normazione Europeo). Nel caso in cui venissero approvate le norme CEN, queste verrebbero trasformate in norme nazionali sostituendo quelle vigenti.

1. Permeabilità all'aria del serramento.

La norma non si applica ai giunti fra serramento e muratura.

I parametri di riferimento sono la lunghezza dei giunti apribili e la superficie con le seguenti condizioni:

La classificazione avviene riferendosi sia alla lunghezza dei giunti sia alla superficie con prove in pressione e depressione vengono previste le seguenti classi:

Classificazione basata sulla superficie del serramento

La funzione dei serramenti e dei sistemi di oscuramento esferno per la corretta ventilazione ed aerazione dell'edificio

- 50 m³ / (h.m²) per classe 1;
- 27 m³/(h.m²) per classe 2;
- 9 m³ / (h.m²) per classe 3;
- 3 m³ / (h.m²) per classe 4;
- 1 m³ / (h.m²) per classe 5.

l serramenti con parti apribili possono essere classificati solo da classe 1 a classe 4.

La classe 5 può solo essere applicata per serramenti a luce fissa.

Classificazione basata sulla lunghezza dei giunti apribili

- 12,5 m³ / (h.m) per classe 1;
- 6,75 m³ / (h.m) per classe 2;
- 2,25 m³ / (h.m) per classe 3;
- 0,75 m³ / (h.m) per classe 4;
- 2. Permeabilità all'aria di oscuranti esterni

La permeabilità all'aria é riferita agli scuri esterni (persiane od avvolgibili) che permettono di ottenere risultati con una differenza di pressione di 10 Pa.

I risultati sono riferiti alla superficie esposta.

Il sistema di classificazione deve ancora essere discusso ma può essere abbinato ai risultati di tipo termico ottenibili.

5. CONCLUSIONI E PROPOSTE

La funzione dei serramenti esterni nella ventilazione di un edificio può essere ancora considerata di prima importanza nonostante la tecnologia rivolta ai sistemi di ventilazione meccanizzata abbia fatto passi decisivi ed interessanti.

Quanto riportato in precedenza é una parte delle notizie necessarie affinché un progettista sia in grado di realizzare un sistema di ventilazione naturale mediante i serramenti.

Per maggiori approfondimenti é necessario dotarsi di sistemi di elaborazione e di simulazione abbinati a programmi di calcolo molto sofisticati in ogni caso oggi disponibili.

Come parte conclusiva si riportano tre proposte riguardanti tre temi differenti fra loro ma legati dall'argomento generale: le infiltrazioni d'aria.

a) Metodo Acustico per la valutazione della infiltrazione d'aria

Alcuni laboratori stanno approfondendo i meccanismi che legano l'isolamento acustico e le infiltrazioni d'aria attraverso una fessura mediante metodi comparativi ed applicabili anche in campo.

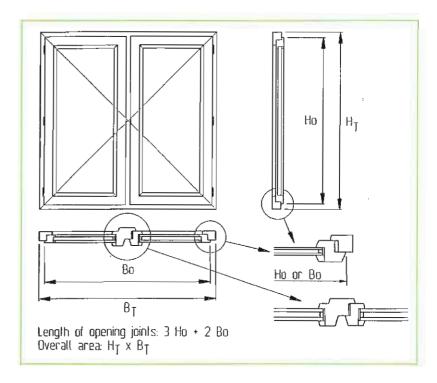
Il sistema permetterebbe senza dubbio una notevole semplificazione ed una applicazione a tutti i casi di verifica sistematica della posa in opera.

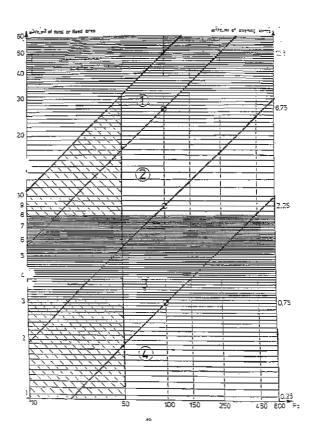
b) Ventilazione e riscaldamento degli ambienti

La problematica é nota da quando esistono gli edifici; nel periodo invernale ed estivo il valore della ventilazione è legato alla perdita di energia.

I due parametri sono inversamente proporzionali e la risoluzione del problema non è di immediato riscontro.

La proposta ripercorre uno studio sperimentale in cui il valore della temperatura dell'aria interna (Ti) risulta essere funzione della temperatura dell'aria esterna (Te) e soprattutto della temperatura superficiale delle pareti (Tp).





Il meccanismo osservato è il seguente:

dopo l'apertura della finestra l'aria fredda entra e si registra un'abbassamento della Ti. Si nota però che la Tp è maggiore della Ti e che il decremento della Ti è dovuto alla notevole azione delle pareti.

Viene introdotto un coefficiente (CS) legato alle caratteristiche fisiche delle pareti ed alla loro superficie.

Il coefficiente riporta tutto ad un valore ipotetico di superficie di pareti che delimitano l'ambiente.

La figura sotto riportata permette di analizzare l'andamento della Ti in funzione della Te e di tre situazioni differentì:

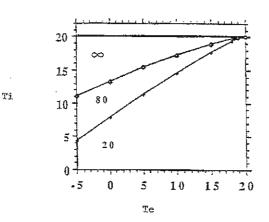
locale con

 $CS = 20 \text{ m}^2$

 $CS = 80 \text{ m}^2$

CS = ∞

Con apertura di serramento avente dimensioni 0,8 x 1,5 m



 c) Permeabilità all' aria delle pareti
 La ventilazione degli ambienti risulta essere una funzione primaria ed i serramenti hanno risposto a tale richiesta con infiltrazione dai giunti.

Queste sono state quasi sempre combattute in quanto di natura localizzata e di effetto non gradito agli occupanti (spifferi freddi).

Supponiamo che i serramenti fossero a tenuta perfetta e che la ventilazione fosse demandata all'intera superficie tamponamento opaco. L'effetto sarebbe quello di ottenere un basso valore specifico di permeabilità in quanto verrebbe suddivisa su di una superficie enorme, quindi quantità di aria elevata e bassa velocità.

Su questi argomenti si stanno muovendo i ricercatori di nuovi materiali per pareti esterne in cui ventilazione può essere sinonimo di recupero energetico.

Inoltre anche in ambito CEN vengono studiati vengono studiati metodi di prova per sottoporre le pareti a verifica della permeabilità all'aria.

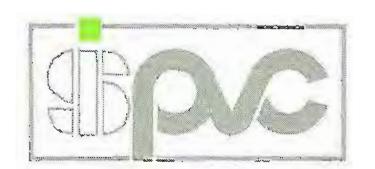
Forse siamo giunti all'inversione dei ruoli:

i serramenti saranno perfetti

le pareti saranno permeabili.

Caratteristiche termiche del serramento: Prestazioni, leggi e regolamenti

Ing. Marco Piana



Le caratteristiche termiche ed il disperdimento di energia corrisponde a precise esigenze che stanno alla base dell'economia della nostra nazione avendo sancito che il risparmio di energia conseguito mediante l'isolamento dell'edificio risulta essere una fonte energetica importantissima. La legge 373 rappresentava il primo passo per attuare l'isolamento termico e quindi il risparmio di energia consumata dagli edifici nel periodo di riscaldamento. La legge 10/91, che sostituisce la legge 373, supera alcuni punti della precedente legislazione e si posiziona come strumento completo per la corretta progettazione dell'edificio. L'entrata in vigore della legge 373, che fissa le norme per il contenimento del consumo energetico degli edifici, ha incrementato notevolmente gli studi sui serramenti, che sono i responsabili dei maggiori disperdimenti di calore degli ambienti. Questi disperdimenti trovano tre vie principali:

- le infiltrazioni d'aria esterna, che deve venire riscaldata;
- la parte vetrata;
- il telaio.

Ognuna di queste vie comporta problemi e sistemi di calcolo particolari.

Le caratteristiche di trasmissione termica dei materiali sono individuate da due grandezze: la conducibilità termica, (λ) , e la trasmittanza termica globale, (k). La conducibilità termica, λ , ha la dimensione di W/m k, vale a dire flusso energetico per unità di lunghezza e per grado di temperatura di differenza fra due punti di un corpo.

La trasmittanza termica o coefficiente di trasmissione termica globale, k (la nuova nor-

mativa europea definisce la trasmittanza termica con il simbolo U), è riferita ad un elemento che separa due fluidi, ha la dimensione di W/m² K e fornísce la quantità di calore che viene trasmessa attraverso l'unità di superficie nell'unità di tempo. La trasmittanza termica ha impieghi prevalentemente pratici, come è il caso degli scambiatori di calore o, quello che a noi interessa, di una superficie di tamponamento fra due ambienti. Alcuni valori di k e di λ per materiali e tipi di lastra di vetro diversi sono riportati in tabella 1.

Poichè però, un serramento è un sistema complesso costituito da una parte trasparente e una opaca e da conformazioni geometriche dei componenti anche molto diverse, la valutazione della coibenza termica del complesso richiede una analisi molto articolata. In prima approssimazione la trasmittanza della finestra

TRASMITIANIZA TERMICA DI MATERIALI DIVERSI						
MATERIALI DEI PROFILI	TRASMITIANIZA TERMICA K (W/m² K)					
LEGNO (SPESSORE 60 mm)	1,5 - 1,6					
ALLUMINIO SENZA TAGLIO TERMICO	5,2-5,3					
ALLUMINIO CON TACLIO TERMICO	2,9 - 3,9					
PVC UNA CAMERA	2,4					
PVC 2-3 CAMERE	1,6-1,9					
DOPPIO VETRO INTERCAPEDINE ARIA 12 mm						
DOPPIO VETRO CON FILM SELETTIVO	1,7 - 2,7					
TRIPLO VETRO INTERCAPEDINE D'ARIA 12 mm	2,1 - 2,2					
VETRO SEMPLICE	4,5					

	CONDUCIBILITAY TERMIC	
MATERIALI	DENSITÀ (KC/m³)	CONDUCIBILITÀ TERMICA X (W/m
K)		
CALCESTRUZZO	2200	1,55
LATERIZI	1400	(0) _{/4} (0)
ASETE	45(0)	0,10
<u>eluarcia</u>	850)	0,18
PVC	1400	0,76
ACCIAIO	7/300	52, <mark>0</mark> 0
ALLUMINIO	2700	220,00

51 Caratteristiche termiche del serramento: Prestazioni, leggi e regolamenti

Tabella 1

può essere data dalla relazione:

$$\mathsf{Ktot} = \frac{\mathsf{Kv} \cdot \mathsf{Sv} + \mathsf{Kt} \cdot \mathsf{Stv}}{\mathsf{Sv} + \mathsf{St}}$$

dove:

Ktot = trasmittanza dell'intero serramento;

Kv = trasmittanza della vetratura;

Kt = trasmittanza del telaio;

Sv = superficie vetratura;

St = superficie telaio.

Il telaio richiede una ulteriore approssimazione in quanto il sistema deve funzionare a temperature molto variabili per le diverse ore della giornata e le diverse stagioni dell'anno. A questo fine si introduce la trasmittanza termica media giorno/notte, che tiene conto di questi aspetti e che, come risulta dalla tabella 2, offre valori notevolmente diversi rispetto alla trasmittanza totale.

Le infiltrazioni d'aria partecipano in maniera importante alle perdite termiche di un serramento soprattutto se queste infiltrazioni sono eccessive rispetto a quanto richiesto da un normale ricambio. Dal valore Q di infiltrazione d'aria ricavabile dalla prova di permeabilità all'aria si può calcolare la quantità di calore necessaria in Kcal/k per riscaldare quest'aria alla temperatura ambiente:

$$C = Cp \cdot \gamma \cdot Q \cdot \{Ti - Te\}$$

Tabella 2

A STATE OF THE PARTY OF THE PAR	TRASMITTANZA MEDIA GIORNO/NOTTE DI SISTEMA FINESTRA							
TIPG-DI VETRATURA	SPESSORE NORMALE INTERCAPEDINE D'ARIA mm	NATURA TELAIO	IRASMITTAN SERRAMENTO	olino se s	MITANZA METIJA PRINDZNOTT, PRRAMERITO DNISCHERMO			
				A TAPPARELLE O ANTE PIANE	AER(0.29			
VETRO SEMPLICE		EGNO, PVC	5.0	3/7	477			
		METALLO	5,8	4.2	478			
		LEGNO, PVC	3,3	2,6	2,9			
VETRO DOPPIO	6	METALLO	4,0	3.1	3/4			
		LEGNO, PVC	3,1	2,5	2,8			
	8.	METALLO	3,9	310	3,3			
		LEGNO, PVC	2,4	2.7				
	16	METALLO	3,8	2,9				
		SEGNO: PVC	2,9	2,4	7.5			
	12	METALLO	377	2,9				
DOPPIA		LEGNO, PYC	2,4	2.1	2.8			
FINESTRA	> 30	METALLO	3.0	2/6				

ing. Marco Plants

dove:

Cp = calore specifico dell'aria;

Q = portata di aria per infiltrazioni (m^3/h) ;

γ = densità dell'aria;

Ti - Te = differenza di temperatura fra aria esterna e interna

(Cp. $\gamma = 0.3 \text{ Kcal/m}^3$).

Il serramento si comporta come componente disperdente energia ma in condizioni particolari modifica questo comportamento per divenire un elemento che permette l'ingresso di energia solare.

In molte occasioni si è constatato come le finestre fossero di piccole dimensioni. Oggi non è più possibile mantenere tale atteggiamento in quanto dalle analisi approfondite sul guadagno termico a causa della radiazione solare il rapporto opaco/trasparente può essere variato. Uno schema di riferimento delle dispersioni è riportato in Fig. 1.

Sono stati sviluppati anche dei procedimenti matematici per il rilevare il guadagno termico che si ottiene tramite le finestre; in questi casi però si considera solamente il bilancio termico attraverso la finestra (Fig. 2), senza analizzare a fondo la trasmissione termica nell'interno della stanza e lo stato non stazionario della temperatura provocato dall'irradiamento solare all'interno della stessa. Comunque è risultata la necessità di sottoporre ad un'analisi più precisa le condizioni limite esterne come, ad esempio, la temperatura dell'aria esterna e l'intensità della radiazione solare. Per poter rilevare il bilancio termico di una finestra occorrono dati precisi sulla temperatura esterna e sull'intensità della radiazione solare. Nel fare ciò le variazioni della temperatura esterna non presentano particolari problemi per essere rilevate: esse sono disponibili in gran numero per varie stagioni in luoghi diversi. Viceversa, per quanto riguarda la radiazione solare, ottenere dati circa l'intensità, dati differenziati secondo orientamento, stagioni e siti, diventa molto difficile.

I servizi metereologici registrano valori in determinati luoghi e quasi sempre danno soltanto dei valori di radiazioni su superfici orizzontali. Talora sono disponibili solamente dati sulla durata della luce del sole e la sua probabilità e non sulla effettiva quantità ed intensità. Soltanto recentemente sono incominciate ad apparire delle pubblicazioni dove vengono riportate informazioni precise sulla quantità di radiazione e sulla probabilità statistica per determinate intensità.

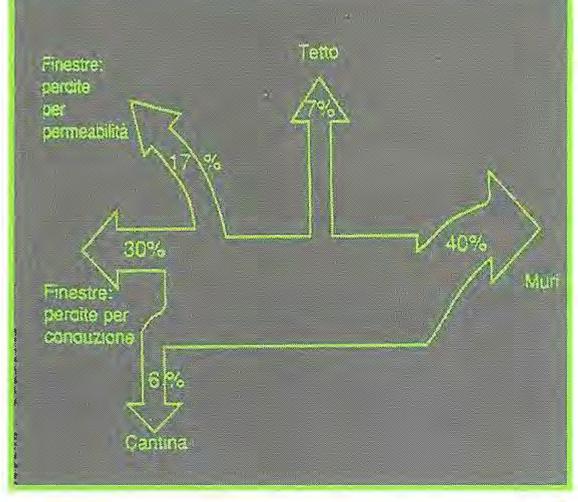
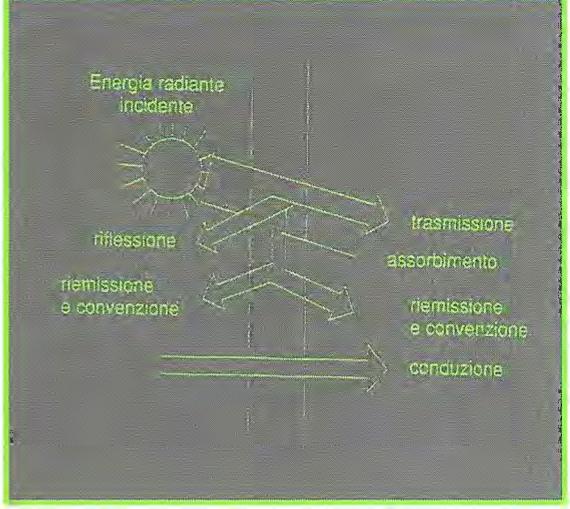


Fig. 2

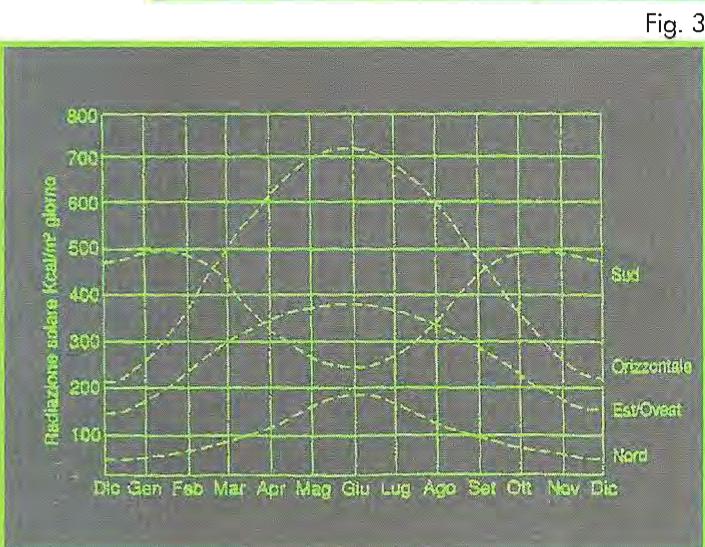
Fig. 1





L'effetto di diminuzione della radiazione solare è dovuto a nuvole, foschia, ecc., ma vi sono anche altri elementi oscuranti che possono avere influenza, quali altre costruzioni, proiezioni dell'edificio, ecc., che contribuiscono a ridurre la radiazione; soprattutto nelle città ciò acquista un'importanza notevole. Infatti, proprio nelle città la riduzione dell'irraggiamento solare è più sentita nei mesi invernali in quanto la posizione del sole è relativamente bassa in questo periodo e quindi l'effetto di mascheramento degli edifici è più sentito. Ne consegue che la radiazione solare che colpisce le finestre è una frazione di quella che si avrebbe in condizioni di ambiente non costruito.

Agli effetti della progettazione è necessario valutare quale è il valore



Caratteristiche termiche del serramento: Prestazioni, leggi e regolamenti

53

dell'energia radiante che in definitiva penetra nel vano. Basandosi sul diagramma base di Fig. 3 vari calcoli sono stati fatti stabilendo anzitutto le condizioni ambientali e cioè il tipo di costruzione, il tipo di muratura, la dimensione del vano, il tipo di arredamento, i vari materiali usati nell'arredamento. Le nuove normative cercheranno di colmare questa grossa lacuna della "373" che dimenticava totalmente la componente radiattiva. La nuova Legge 10 con i relativi decreti attuativi permetterà ai progettisti di approfondire il dimensionamento e l'esposizione corretta del serramento in modo da realizzare edifici con funzionamento ottimizzato e realistico.

Il componente serramento, come per altri componenti costruttivi, viene identificato termicamente mediante il valore di trasmittanza termica. Questo dato può essere ricercato con metodi analitici e matematici più o meno approssimati ma può anche essere ottenuto sperimentalmente. La particolarità più interessante è derivata dal poter posizionare un serra-

mento di dimensioni reali in un telaio (Fig. 4) che viene successivamente introdotto in una attrezzatura denominata "Hot Box" di (Fig. 5). Questa, con strumentazione appropriata, permette di misurare il flusso di calore che attraversa il componente in esame. Da questo valore è possibile ricavare il valore di trasmittanza termica.

La procedura descritta dovrebbe far riflettere il progettista che inserisce dati, nella maggioranza dei casi poco attendibili, nel dimensionamento energetico dell'edificio. E' quindi opportuno che il progettista richieda la fonte del dato fornito dai costruttori ed è oltremodo necessario che questi ultimi specifichino la provenienza dei medesimi valori. Così si presentava il quadro generale riguardante il serramento; l'uscita sulla G.U. n. 13 del 16.1.1991 della Legge 9 e 10 ha creato un sostanziale mutamento dell'approccio termico. La legge 373 viene sostituita dai nuovi regolamenti. La legge 10 interagisce in modo ponderale sui diversi componenti dell'edificio e introduce alcune variazioni basilari per il controllo del consumo energetico. I punti fondamentali di innovazione rivestono alcuni aspetti di interesse particolare:

- vengono fissati i consumi di energia per le differenti tipologie di edifici. Si passa dalla limitazione della potenza dell'impianto, che nella legge 373 veniva imposta con il coefficiente Cd, alla limitazione dei consumi di combustibile. Ovvero l'edificio dovrà essere analizzato con una ottica più ampia investendo il binomio tanto discusso edificio-impianto. Il calcolo, secondo alcune disposizioni derivanti dai gruppi di lavoro Cen, verrà basato sul bilancio energetico della costruzione ovvero si dovranno confrontare i consumi con i disperdimenti;
- tutti gli edifici dovranno essere progettati e realizzati in modo da creare il maggior risparmio energetico possibile. In merito vi sono dei processi di ottimizzazione energetica realizzati anche da Enea che permettono di dimostrare che il livello di isolamento attualmente attuato nel nostro paese non è sufficiente;
- vengono introdotti i concetti di collaudo e certificazione energetica degli edifici. Deve essere compilata una scheda energetica che viene affiancata al certificato di collaudo in caso di compravendita e di locazione dell'immobile. Ovvero il rogito è il momento per la valutazione ufficiale della qualità energetica dell'edificio. Inoltre si deve sottolineare che tale certificazione viene rilasciata dal comune stesso o da professionisti abilitati con prevista validità di 5 anni;
- ogni componente della costruzione, sia nuova che in ristrutturazione, dovrà essere certificato con modalità emanate dal ministero dell'industria. La certificazione comporta la verifica di un ente di certificazione esterna e di un laboratorio idoneo a svolgere le prove previste per il rilascio del documento che permette al costruttore di apporre sul prodotto gli estremi della certificazione stessa;
- vengono previsti contributi in conto capitale del 20-40% della spesa sostenuta per incentivare gli interventi di risparmio energetico (riscaldamento, condizionamento, illuminazione, isolamento).

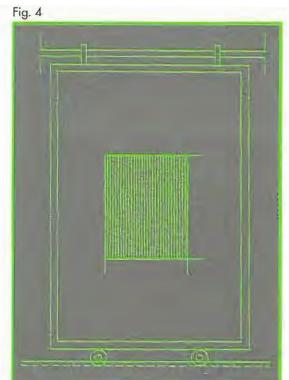
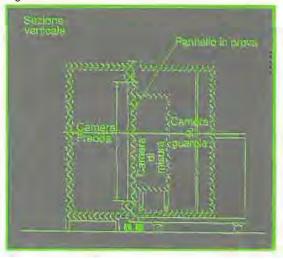


Fig. 5



La nuova normativa per il contenimento dei consumi energetici viene stilata da esperti in contatto con il punto nodale della normazione oggi in attività: il CEN. Quindi è nostra speranza che le disposizioni finali siano in linea con quanto la CEE prescriverà per il libero scambio delle merci e con quanto gli altri paesi realizzeranno nel settore energetico. Innovazioni ancora più importanti sono indirizzate all'industria e alle imprese introducendo i concetti di certificazione di prodotto e di attestazione. Il rapporto fra il prodotto, in questo caso rappresentato dal serramento, e la relativa certificazione apre la discussione in merito ad un tema attuale. Vi sono diversi sistematici approcci ma sicuramente per la finestra è impossibile non citare il marchio che l'UNI sta elaborando in collaborazione con costruttori ed associazioni. Il marchio UNI risponde alle direttive della Comunità Europea, mediante l'applicazione delle norme CEN, si giunge così a definire una qualità prestazionale e funzionale del componente. E' auspicabile che la stesura finale del marchio possa comprendere anche la caratterizzazione acustica e termica come elementi di basilare importanza per la certificazione del serramento esterno. In Italia la Legge 10 è il primo passo per l'introduzione della certificazione dell'abitazione nel settore energetico e, sicuramente altri campi dovrà influenzare.

Riassumendo gli interventi della Legge 10 possono essere così esposti:

- 1 Consumi di energia
- 2 Maggior risparmio energetico
- 3 Collaudo
- 4 Certificazione di prodotto
- 5 Certificazione energetica dell'edificio
- 6 Contributi in conto capitale
- 7 Esperti
- 8 CEE CEN

I quattro argomenti di base che vengono supportati dalle legislazioni e dalla normativa sono riferiti a:

Diritto al sole dell'edificio

- Collocazione sul territorio
- Vegetazione
- Orografia

Surriscaldamento

- Invernale
- Estivo.

Temperatura superficiale

- Umidità
- Uniformità
- Evitare condense

Ventilazione

• 0,5 volumi/h ricambi d'aria

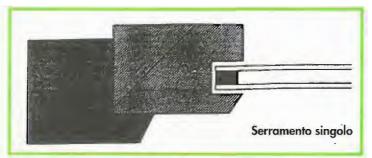
alle infiltrazioni non più del 50% dello 0,5 volumi/h.

Nel settore serramenti la Legge 10/91 fa riferimento a una norma UNI per il calcolo della trasmittanza termica: UNI 10345.

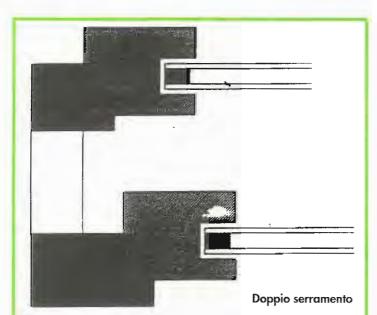
Questa prevede tre tipologie di telai:

Con riferimento alla trasmittanza termica che ora viene indicata con la lettera U (W/m^2 K) e con U_f la trasmittanza termica del telaio vengono riportati i valori di

riferimento che risultano i seguenti:



1) Coefficienti globali di trasmissione termica di telai in plastica con rinforzi metallici Uf:





2) Coefficienti globali di trasmissione termica di telai di legno Uf:



3) Il coefficiente globale di trasmissione termica per telai in alluminio



Caratteristiche termiche del

Ing. Marca Piana

Serramento combinato

privi di taglio termico e pari a 7,0 W/m² K

4) Coefficienti globali di trasmissione termica di telai metallici con taglio termico

Nel prospetto sopra riportato "d" rappresenta la minima distanza tra le due sezioni di alluminio in millimetri e dipende dal tipo di configurazione presente. Inoltre viene introdotto un coefficiente OR aggiuntivo nel caso in cui il calcolo venga effettuato con le tapparelle abbassate. In questa situazione è necessario conoscere il valore di permeabilità all'aria del sistema di oscuramento esterno (bassa - media - alta).

Valori della resistenza termica (m² K/W) aggiuntiva DR per finestre dotate di tapparelle abbassate.

TYPICO TXVELVALIDA	PATE AND		ioR m ² K/W	
		HASSA HEMMEABILITÀ Orig	MEDIA PERMIZABILITÀ Wie	ALTA PERMEABILITÀ enfe
MUDDWARKS	9(0)	0,14	0,12	0,02
HARRICO E PLACTICA TELEVIZAÇÃO ACHIVAV	Ø ₆ .(e)	10,202	0, ∏ 6	0,12
WELFALL FIRM TIKE CHOW SETTLING	動權	0,26	0,19	0,13
Internet (EX = 200 man)	0,020	(a),3(b)	0,22	0,14

Inoltre è stato emanato un decreto legge DM 13/12/93 in cui viene riportata la relazione che i professionisti devono consegnare ai comuni per ottenere la con-

AND ANTONIE INCHUICA IN CELE AND MANTERIA DE SONS IN MANTERIA DE SONS ANTONIE INFERMINA MANTENIA FORMANTA	THAIMENTO DEL CONSUMO ENERCETICO D	DEGLI EDIFICI
la relazonne viene presentate prima dell'inizio e Descripti disensas ac	dei lavori relativi all'edificio ed all'impianto. huove costruzione	ristrutturazione di edificio
W. TATION TIPOLOGICA DELLEGIANCIO (DECOMPLE PARAMETRI PLIMWARCI SELLA LEGICALITÀ		
U DANN THE MICE TESTING THE PRINCIPLE (C.C.)	MPLESSO DI SOLFICI) E DELLE RELATIVE STRU (implente fermico)	JTTURE:

57

cessione ai lavori richiesti. Si riportano solamente le parti inerenti al sistema finestra mentre per le altre parti si rimanda al testo generale.

THEX.COMPONENTE (1)	ARATTE ARTIF			O HALLEGATO A	EL MVOLUCKO E	DILIZIO COMPONENTE	
DESCRIZIONO SERRAMENTO SINVEDIO DOPPIO SEFRAMENTO E/O GOMBINATO	Ag Im ² I	#1 (n))	14 (a.d)	War in	I;, W//er/tid(JS _a (www.e)	Cyy W//or-E
Residence unitalizatoreil Residence unitalizatoreil Residence unitalizatoreil	el de esterni				an is supported sup an is supported sup it while		
Ag April distriction of April distriction of April distriction of the April distriction of the Agriculture o	nica dultraicu nica datrelari icu (nulla ni nica taratera di tertama di tertama dimanze ini	numo vetrato o caso di singalo s el setromento no, innetàriali, c lure superficiali	(4) (*)				

	Caratteristiche termiche dei compone Vedi allegati secondo IAB, 2	erii finestrati dell'involucro edilizio	
	Coefficiente voluntico Cd di progetto Coefficiente voluntico Cd (valore ma Numeri di ricambi d'aria (media nel	ssimo consentito)	W/m³
1	Zong	Valore di progetto UNI (h 1)	Valore minimo imposto da norme (h ⁻¹)
	Portata d'aria el rigambio		
	inflazione meccanica controllata	Alfraverse apparecchi di recupero (m²l/li)	Rendimento (%)

Note richiamate nel testo

(13) tabella dei tipi di serramento secondo la classe di permeabilità all'aria UNI 7979; la classificazione fa riferimento ai diagrammi del paragrafo 3.1 - figura 1, sinteticamente riassunti nella seguente tabella.

Classe	Permeabilità	Differenza di pressione Pa	Riferimento alla lunghezza (m) dei giunti apribili. Portata d'aria m³/(h m)	Riferimento alla superficie apribile (m2) Portata d'aria m ^{3/} (h m²)
A1	Alta	150	8.2 - 16	26 - 62
A2	Media	150	2.7 - 8.2	9 - 26
А3	Bassa	150	0 - 2.7	0 - 9

150 Pa è la pressione dinamica che corrisponde a 15,8 m/s.

(16) Descrivere l'eventuale sistema di ventilazione controllata: esempio: impianto centralizzato di ventilazione composto da canali di mandata e di ripresa, senza ricircolo d'aria, con batterie per il preriscaldamento dell'aria immessa.

Per rendere la situazione maggiormente esplicita e sintetizzare la situazione ad oggi

vengono riportate le leggi ed i decreti emanati ed ancora da emanare e le norme previste per il calcolo dei disperdimenti e di tutto quanto necessita per la buona progettazione del sistema edificio-impianto.

ELENCO DELLE PRINCIPALI NORME UNI

LEGGE O NORMA	PUBBLICAZIONE	COMMENTI
Legge 10	16.01.1991	Alcune norme di indirizzo generale sono entrate in vigore subito o dopo 180 gg. Le norme riguardanti la progettazione entrano in vigore dopo la pubblicazione dei relativi decreti;
DPR 412 del 26.8.93 (Regolamento art. 4 comma 4 legge 10)	14.10.1993	"Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici al fine del contenimento di consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9.1.91 n. 10" Data di entrata in vigore: 29.10.93 salvo le disposizioni degli art.: 5: Requisiti e dimensionamento degli impianti. 7: Termoregolazione e contabilizzazione; 8: FEN; 11: Esercizio e manutenzione Che entrano in vigore comunque il 01.08.1994
DM 13.12.1993 Modelli di Relazione attestante la rispondenza al D.P.R. 412	20.12.1993	"Approvazione dei modelli tipo per la compilazione della relazione tecnica di cui all'art.28 della legge 9.1.1991 n.10, attestante la rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici" Data di entrata in vigore: 20.6.1994 Relazione Tecnica da depositare in Comune prima dell'inizio dei lavori. Dal 20.6.94 fino all'1.8.94 la relazione può non riportare i dati per i quali é richiesta l'applicazione delle norme UNI in corso di recepimento; Dopo l'1.8.94 la relazione tecnica deve in ogni caso riportare i risultati dei calcoli secondo le norme UNI in corso di recepimento. Dopo l'1.8.94 la relazione tecnica deve in ogni caso riportare i risultati dei calcoli secondo le norme UNI da 10344 a 10349 anche se non ancora recepite dal Ministero e deve dimostrare la rispondenza agli art.5,7,8 e 11 del D.P.R. 412.
DM 6.8.1994		" Modifiche e integrazioni alla tabella delle zone climatiche"
DM 6.8.94	24.8.1994	" Recepimento norme UNI attuative del D.P.R. n.412"

LEGGE O NORMA	PUBBLICAZIONE	CONTENUTO
NORME UNI	Novembre 93 Luglio 94	
7357		Calcolo della potenza del generatore e delle dispersioni di picco
10344		Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia
10345		idem. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrali. Metodo di calcolo
10346		idem. Scambi di energia termica tra terreno e edificio. Metodo di calcolo
10347		idem. Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante. Metodo di calcolo
10348		idem. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodo di calcolo
10349		Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Dati climatici
10350		Verifica igrometrica degli ambienti e delle strutture
10351		Caratteristiche di permeabilità al vapore e di conduttibilità dei materiali
0355		Resistenza termica di murature e solai
10376		Isolamento termico degli impianti di riscaldamento e raffrescamento degli edifici.
10379		Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Procedura per l'individuazione dei limiti e per lo svolgimento delle verifiche per il calcolo del Fabbisogno Energetico Convenzionale Normalizzato (FEN).
10380		Illuminatecnica. Illuminazione di interni con luce artificiale.
10389		Misurazione in opera del rendimento di combustione dei generatori di calore.
9615		Calcolo delle dimensioni delle canne fumarie.
		Sono elencate le normative UNI, attuative del DPR 412/93, che pertanto sono da applicare ufficialmente a partire dal 25.8.1994