

Aspetti prestazionali di serramenti in PVC



La durabilità dei serramenti esterni in PVC



L'isolamento termoacustico nelle costruzioni: il contributo dei serramenti esterni



I serramenti di PVC. Prestazioni e messa in opera

ASPETTI PRESTAZIONALI DI SERRAMENTI IN PVC

(atti del 1° Convegno SI-PVC al Saiedue '87)

- Caratterizzazione dei serramenti in PVC _____ 3
di Marco Piana
- Il contributo dei serramenti in PVC negli incendi _____ 11
di R.A. Graham
- Serramenti esterni di PVC nel recupero edilizio _____ 13
di Alfredo Castiglioni
- La stabilità dimensionale nel tempo ed il suo influsso
sul calcolo dei serramenti di PVC _____ 18
di Filiberto Finzi
- Discussione al termine del convegno _____ 24

LA DURABILITÀ DEI SERRAMENTI ESTERNI IN PVC

(atti del 2° Convegno SI-PVC al Saiedue '88)

- Considerazioni generali sull'influenza degli agenti
esterni sulle proprietà dei materiali _____ 26
di Guido Audisio
- Influenza degli agenti esterni sulle proprietà del PVC ri-
gido e sue formulazioni per serramenti esterni _____ 31
di R. Magnus
- Documentazione sull'influenza degli agenti esterni su
alcuni additivi per mescole a base di PVC _____ 42
di Sabino Leghissa
- Stabilità dimensionale in esercizio dei serramenti PVC _____ 47
di Marco Piana
- La resistenza all'esterno dei serramenti in PVC: docu-
mentazione di test su serramenti in opera _____ 50
di Eckhard Röhr
- Dibattito _____ 55

L'ISOLAMENTO TERMOACUSTICO NELLE COSTRUZIONI:

IL CONTRIBUTO DEI SERRAMENTI ESTERNI

(atti del 3° Convegno SI-PVC al Saiedue '89)

- L'isolamento termico delle chiusure trasparenti: pro-
spettive e previsioni future nella progettazione delle fi-
nestre _____ 56
di Sergio Mammi
- Le infiltrazioni d'aria negli edifici: ricerche sperimentali
e raccomandazioni internazionali _____ 57
di Marco Masoero
- La difesa dai rumori esterni negli edifici civili, industriali
e commerciali _____ 61
di Ermenegildo Brosio
- Una proposta innovativa per la risoluzione delle proble-
matiche dei serramenti esterni: l'isolamento termodina-
mico _____ 67
di Marco Piana
- La scadenza del 1992: l'attività normativa per i serra-
menti _____ 70
di P. Gugliemmetto

I SERRAMENTI DI PVC PRESTAZIONI E MESSA IN OPERA

(atti del 4° Convegno SI-PVC al Saiedue '90)

- Criteri per la posa in opera dei serramenti di PVC _____ 72
di Franco Paoli
- Il problema della condensa nei serramenti esterni _____ 76
di Marco Masoero
- Progettazione e messa in opera delle vetrate _____ 80
di Roberto Sampaolesi
- La verifica in opera delle prestazioni dei serramenti di
PVC _____ 83
di Marco Piana
- Il capitolato d'appalto _____ 87
di Luigi Emanuelli

Caratterizzazione dei serramenti in PVC

1. PREMESSA

I serramenti esterni di un edificio sono una parte della costruzione complessiva, a cui va il compito di mantenere all'interno dell'edificio condizioni di microclima adatte alle esigenze di abitabilità indipendentemente dalle condizioni interne.

Per questo fine essenziale i serramenti devono rispondere a precise caratteristiche ed esigenze costruttive.

Il serramento è costituito essenzialmente da tre parti:

- parte opaca (telaio, sistema di oscuramento);
- parte trasparente (vetrata);
- parti accessorie (chiusura, guarnizioni).

Questi tre componenti devono essere progettati ed assemblati in modo da garantire i requisiti e le prestazioni richieste dalle ormai numerose prescrizioni e normative.

Queste esigenze hanno imposto alla tecnologia industriale di perseguire con sistematicità gli aspetti di qualità, di funzionalità e di costo, evolvendo in continuazione il serramento nel suo insieme.

Se considerassimo l'evoluzione del serramento negli ultimi decenni saremmo sorpresi che le «finestre» di un tempo oggi si sono trasformate ed abbellite; ma ancor di più, si sono vestite di una nuova definizione: da componente a sistema. Questo è un passaggio molto importante che raccoglie in un solo vocabolo tutta la ricerca e tutti gli sforzi dei costruttori di questi ultimi anni.

Ed ecco che entra nel gorgo comune il termine «sistema finestra» per indicare tutto ciò che andrà ad occupare un vano lasciato libero nel tamponamento esterno.

Altra considerazione importante è che al serramento, oggi, si domanda molto di più. Non solo deve separare un clima esterno da un clima interno all'abitazione ma deve svolgere una serie di funzioni aggiuntive di tipo termocinetico, acustico e funzionale.

L'evoluzione ha, inoltre, consentito di realizzare serramenti con materiali innovativi proponendo quindi al mercato prodotti in grado di garantire la qualità, la funzionalità ed il costo.

Un materiale innovativo con una decennale esperienza e che oggi sta incontrando sempre di più il favore del mercato è sicuramente il serramento in PVC. Le ragioni di questo relativo successo sono da ricercare nella maggiore affinità

di Marco Piana

dei procedimenti di assemblaggio con quelli tradizionalmente in uso per i serramenti in legno o metallici. Questi procedimenti, adoperabili anche a livello artigianale o di piccole industrie, sono i più adatti alle esigenze odierne del mercato che, anche dove la normativa dimensionale è più osservata — come nella Germania Federale — richiede un gran numero di tipi e dimensioni; ciò trova poi una corrispondenza anche nella struttura del sistema distributivo.

Le caratteristiche positive delle finestre in PVC estruso sono essenzialmente legate, da una parte, alla possibilità di ottenere in modo economico profili anche molto complessi (ciò è particolarmente importante in vista delle prestazioni che oggi si richiedono ai serramenti), dall'altra al fatto che esse garantiscono una vita utile praticamente senza alcuna esigenza di manutenzione del telaio. Il PVC infatti non è soggetto a fenomeni di corrosione, come i metalli, né di degradazione organica, come il legno.

Esso è inoltre un materiale difficilmente infiammabile e il suo impiego nei serramenti non è soggetto a restrizioni di sicurezza.

Attualmente sono disponibili formulazioni ampiamente stabilizzate nei confronti delle radiazioni ultraviolette (il maggior agente aggressivo per il polimero in questo impiego), la cui efficacia è dimostrata dall'uso ormai più che decennale nelle tapparelle e nei canali di gronda.

Nonostante nell'industria delle materie plastiche questi aspetti formulativi siano ben noti, è sempre opportuno sottolinearli. Nessun polimero (ed il PVC in particolare) è definito nelle sue proprietà se si prescinde dagli aspetti formulativi. Il «materiale plastico» è un polimero formulato e le sue proprietà fisiche variano fortemente in relazione ai tipi ed alle quantità degli additivi, anche quando le caratteristiche esteriori possono apparire le stesse.

Molti degli insuccessi applicativi dei plastici sono proprio da imputare al fatto che l'utilizzatore ha trascurato questi aspetti, favorendo — tra due manufatti apparentemente uguali — quello di prezzo più conveniente.

È quindi sempre opportuno l'uso di manufatti prodotti con materiale formu-

lato all'origine direttamente dal produttore, che sono caratterizzati e certificati in funzione dell'impiego, oppure richiedere al trasformatore una documentazione di rispondenza alle norme UNI o Uniplast relative all'impiego stesso.

Per quanto concerne la resistenza del PVC alle condizioni climatiche esterne, si deve ricordare che per le zone più fredde e quelle temperate con sensibili escursioni termiche sono stati messi a punto materiali ad elevata resistenza all'urto, che si rivela utile soprattutto nelle operazioni di assemblaggio sul cantiere. Per le zone a temperatura più elevata e costante e per particolari sistemi di montaggio è invece possibile l'impiego di prodotti medio resilienti.

Per le temperature elevate, quando inoltre l'irraggiamento è più intenso, il PVC ha dato buona prova in tutta l'Europa, comprese le regioni mediterranee. Buoni risultati si sono avuti anche in zone climatiche più severe (esempio Medio Oriente), limitatamente però a materiali specifici di qualità elevata.

La minore rigidità del PVC rispetto al legno ed al metallo non impedisce inoltre il raggiungimento delle prestazioni di resistenza al vento richieste dalle norme, giacché la forma del profilo permette una facile armatura con anima metallica, quando le dimensioni del serramento lo richiedano.

2. REQUISITI

Per garantire all'interno dell'edificio un microclima adeguato il serramento risulta essere un sistema complesso e delicato, che deve sopportare sollecitazioni continue e mantenere il livello delle prestazioni per tempi comparabili alla vita dell'edificio.

A tale scopo il serramento deve essere progettato in modo da poter affrontare, senza alcun problema, una serie numerosa di sollecitazioni ed agenti in modo da soddisfare ai requisiti più diversificati che vengono qui di seguito elencati.

1. Requisiti temporanei relativi a fasi preliminari

Descrizione

Capacità o attitudine di resistere alle sollecitazioni derivanti da o conseguenti ad operazioni preliminari alla messa in opera e relative alla movimentazione in genere: carico, scarico, imballaggio, disimballaggio, stoccaggio, manipolazione a piè d'opera, posizionamento,

fissaggio e finitura; capacità o attitudine di facilitare e rendere sicure dette operazioni e fasi.

In particolare:

a) la massa dei singoli pezzi e, in genere, delle unità imballate deve essere agibile per le squadre di operatori e per i mezzi di sollevamento e trasporto previsti e specificati;

b) elementi acuminati, taglienti o comunque pericolosi devono venire adeguatamente protetti e segnalati;

c) opportuni accorgimenti devono consentire la presa agevole e sicura dei colli e delle unità imballate da parte degli operatori e da parte dei mezzi di sollevamento e trasporto previsti e specificati;

d) gli elementi di presa e di attacco per la movimentazione devono resistere alle sollecitazioni derivanti dalla massa dei colli e dalle azioni statiche e dinamiche caratteristiche dei mezzi di sollevamento e trasporto, tenendo conto dei dovuti margini di sicurezza;

e) i colli o le unità imballate devono avere in evidenza le istruzioni per la movimentazione e le indicazioni che consentono di manovrarli in condizioni di sicurezza: posizione del baricentro (ove necessario), indicazione della base d'appoggio, indicazione della massa lorda, indicazioni di fragilità o di pericoli eventuali, ecc.;

f) l'impilaggio a piè d'opera e sui mezzi di movimentazione deve essere coerente con le sequenze operative di montaggio e messa in opera previste e specificate;

g) le parti e i componenti del sottosistema devono venire marcati in modo da consentire il riconoscimento facile e immediato della loro collocazione e, possibilmente, riportare gli stessi riferimenti adottati nei documenti esecutivi;

g) ove necessario le parti e i componenti del sottosistema devono essere dotati (mediante imballaggio o mediante aggiunta di strutture ausiliarie) della resistenza meccanica temporanea necessaria per sopportare le azioni statiche e dinamiche derivanti dalle operazioni di movimentazione plausibili durante il posizionamento e il montaggio tenendo conto dei dovuti margini di sicurezza;

i) nelle fasi preliminari non devono verificarsi eventi tali da diminuire le caratteristiche fisico-chimiche e funzionali dei materiali o dei componenti, rispetto a quelle possedute al momento della loro produzione e messa in commercio.

Caratteristiche

- a) sicurezza degli operatori;
- b) efficienza della movimentazione;
- c) organizzazione dello stoccaggio;

d) efficienza delle sequenze operative e di messa in opera;

e) riduzione delle rotture accidentali;

f) deterioramento fisico-chimico dei materiali durante lo stoccaggio.

2. Requisiti di resistenza alle sollecitazioni derivanti da carichi statici

Descrizione

Capacità o attitudine di sopportare le sollecitazioni derivanti dal carico dovuto al peso proprio e dai carichi di servizio senza deformazioni tali da pregiudicare la stabilità, la sicurezza e la funzionalità.

Caratteristiche

a) solidità e coerenza del sistema costruito;

b) sicurezza degli operatori;

c) sicurezza degli utenti;

d) economia dei trasporti e della messa in opera (massa e ingombro);

e) flessibilità di trasformazione dell'edificio;

f) resistenza allo smantellamento (alla demolizione);

g) resistenza ai fenomeni vibratorii;

h) resistenza ai fenomeni sismici;

i) comportamento acustico (massa);

l) comportamento igrotermico (deformazione ai giunti sotto carico);

m) efficienza strutturale.

3. Requisiti di resistenza alle sollecitazioni derivanti dal carico del vento

Descrizione

Capacità o attitudine di sopportare, senza deformazioni permanenti e tali da pregiudicare la stabilità, la sicurezza e la funzionalità, le sollecitazioni derivanti dal carico dinamico del vento sull'edificio e sulle parti specifiche.

Caratteristiche

a) direzione e forza dei venti dominanti;

b) frequenze stagionali dei venti dominanti;

c) presenza contemporanea del vento e della pioggia;

d) efficienza strutturale;

e) sicurezza degli utenti;

f) sicurezza degli operatori;

g) permeabilità all'aria;

h) tenuta all'acqua;

i) comportamento igrotermico;

l) ventilazione naturale ed artificiale;

m) vibrazioni ed usura meccanica;

n) rumorosità e comfort acustico;

o) carico del vento sulle pareti divisorie interne;

p) coerenza dei movimenti con i componenti adiacenti;

q) tolleranze e giochi di montaggio;

r) economia di manutenzione e gestione;

s) presenza di edifici od ostacoli in grado di provocare anomalie nel flusso naturale del vento attorno all'edificio;

t) forme particolari della chiusura esterna o dei suoi organismi (legge, balconi, aggetti, parapetti, cornicioni, lesene, avancorpi) in grado di provocare anomalie nel flusso naturale del vento nelle adiacenze e sollecitazioni specifiche eccezionali;

u) sistemi di ventilazione artificiale degli ambienti.

4. Requisiti di resistenza a fenomeni provocati da effetti collaterali del vento

Descrizione

Capacità o attitudine di:

a) sopportare senza dare luogo a sbalzi, vibrazioni, rumorosità, il flusso del vento attorno all'edificio e le sue eventuali turbolenze;

b) sopportare senza danni né disordini funzionali i depositi eolici e consentirne l'eliminazione mediante operazioni di manutenzione;

c) regolare il deflusso dell'acqua piovana che le investe per effetto del vento in modo che questa non possa raggiungere parti che non sono state progettate per essere bagnate.

Caratteristiche

a) comfort acustico;

b) flessibilità e vincoli degli elementi di tamponamento;

c) manutenzione e pulizia;

d) tenuta all'acqua;

e) comfort igrotermico;

f) permeabilità all'aria;

g) solidità e coerenza del sistema costruito;

h) sicurezza degli utenti;

i) efficienza strutturale.

5. Requisiti di resistenza in caso di incendio

Descrizione

Capacità o attitudine di consentire, in caso di incendio, operazioni di soccorso conservando una funzionalità di emergenza durante le fasi dell'incendio nelle quali avviene l'evacuazione dell'edificio o vengono portati i soccorsi, controllando l'attacco e la propagazione dell'incendio di provenienza sia interna sia esterna.

Caratteristiche

a) infiammabilità dei materiali costituenti;

b) temperatura di ignizione dei materiali costituenti;

c) propagazione della fiamma sulle superfici esposte;

d) modalità di combustione;

- e) prodotti della combustione alle diverse temperature;
- f) possibilità di deflagrazione;
- g) possibilità di detonazione;
- h) formazione di miscele o gas esplosivi;
- i) comportamento statico alle varie temperature e nel tempo;
- l) temperatura di fusione dei materiali costituenti;
- m) potere calorifico dei materiali costituenti;
- n) criteri statici.

Il fornitore dovrà documentare in modo specifico le caratteristiche dei componenti rilevanti per questi requisiti.

6. Requisiti relativi alle variazioni di temperatura

Descrizione

Capacità o attitudine di:

- a) controllare i fenomeni igrotermici conseguenti alle variazioni di temperatura previste o specificate, evitando che l'eventuale condensa possa arrecare danno a parti non progettate per essere bagnate;
- b) ammettere il drenaggio o l'evacuazione delle acque di condensa che si possono formare in zone o parti progettate per essere bagnate;
- c) consentire nel tempo i movimenti derivanti da dilatazioni e contrazioni termiche ripetute senza che da ciò derivi danno o menomazione funzionale;
- d) sopportare le sollecitazioni derivanti dalle dilatazioni e contrazioni termiche senza dare luogo a danno o menomazione funzionale;
- e) prevedere e ammettere le frecce e gli spostamenti elastici provocati da conseguenti a variazioni di temperatura senza danno o menomazione funzionale.

Caratteristiche

- a) usura in corrispondenza dei giunti;
- b) rumorosità;
- c) sollecitazioni assiali di pannelli, montanti e traverse;
- d) permeabilità all'aria;
- e) tenuta all'acqua;
- f) giochi di montaggio e messa in opera;
- g) tolleranze dimensionali;
- h) efficienza strutturale;
- i) comportamento acustico;
- l) coerenza dei movimenti relativi fra le parti e i componenti del sottosistema;
- m) manovrabilità delle parti mobili;
- n) fenomeni di condensa e formazione di condense interne alle chiusure esterne;
- o) durabilità dei materiali e dei prodotti di giunzione;
- p) caratteristiche di isolamento termico;
- q) concezione dei giunti e loro tenuta;

- r) resistenza al fuoco;
- s) coefficiente di assorbimento delle radiazioni;
- t) coefficiente di dilatazione termica;
- u) resistenza in caso di incendio.

7. Requisiti acustici

Descrizione

Capacità o attitudine di:

- a) isolare dai rumori provenienti dall'esterno (traffico, rumori vari...);
- b) prevenire rumori generati all'interno dell'edificio (vibrazioni delle strutture, rumori attraverso condotti ed intercapedini...);
- c) prevenire i rumori generati dalla chiusura stessa e dai sottosistemi che la compongono (sonorità dovuta al vento tangenziale su elementi sporgenti della chiusura stessa, possibili effetti di turbolenza o di risonanza di cavità, rumorosità di organismi di oscuramento o di schermatura solare e delle relative manovre, scricchiolii dovuti a dilatazioni e contrazioni termiche).

Caratteristiche

- a) massa areica e spessore di ciascun singolo strato;
- b) permeabilità all'aria;
- c) sistemi di fissaggio e collegamento strutturale;
- d) condizioni ai bordi delle lastre di vetro e dei pannelli di tamponamento in genere;
- e) frequenze proprie e frequenze di coincidenza dei componenti collegati;
- f) presenza e dimensione di intercapedini fra i vari strati costitutivi delle chiusure esterne;
- g) presenza di canalizzazioni o di elementi continui rigidi all'interno delle chiusure esterne;
- h) stato di sollecitazione;
- i) percentuale di superficie apribili o comunque di superficie vetrata rispetto alla superficie complessiva;
- l) assorbimento delle dilatazioni e delle contrazioni termiche;
- m) manovre di parti mobili e accessorie;
- n) schermi e geometria della chiusura esterna (parapetti, logge, aggetti...);
- o) angolo di incidenza con cui le onde sonore investono la chiusura esterna;
- p) orientamento della superficie della chiusura esterna rispetto alle linee di traffico;
- q) geometria e condizioni morfologiche del contesto urbano;
- r) elementi di separazione orizzontali e verticali interni;
- s) dinamica del vento attorno all'edificio.

8. Requisiti relativi alla permeabilità all'aria

Descrizione

Capacità o attitudine di controllare la quantità di aria che le attraversa.

La permeabilità all'aria si esprime in metri cubi all'ora riferiti all'unità di superficie apribile (m²) o all'unità di lunghezza (m) di giunti apribili in funzione di specificate pressioni.

Caratteristiche

- a) differenze di pressione fra interno ed esterno;
- b) dinamica del vento attorno agli edifici;
- c) comfort degli abitanti;
- d) comportamento igrotermico;
- e) comportamento acustico;
- f) invecchiamento e fenomeni di aggressione chimica;
- g) manutenzione;
- h) consumi energetici;
- i) comportamento durante l'incendio;
- l) isolamento termico;
- m) sistemi di giunzione;
- n) caratteristiche delle parti vetrate;
- o) differenze di temperatura fra superfici esterne e interne della chiusura;
- p) differenza di temperatura fra parte alta e parte bassa dell'edificio o dei vani;
- q) differenze di temperatura fra esterno e interno;
- r) tiraggi naturali innescati da elementi continui e verticali;
- s) movimenti degli strati limite dell'aria in corrispondenza delle superfici;
- t) geometria dell'edificio;
- u) efficienza strutturale;
- v) manovrabilità delle parti mobili e sviluppo dei giunti;
- w) modalità di messa in opera.

9. Requisiti di resistenza agli urti

Descrizione

Capacità o attitudine di resistere senza degrado funzionale, deformazioni permanenti o altre menomazioni alle sollecitazioni derivanti da urti con corpi molli e da urti con corpi duri.

In sede progettuale è necessario specificare le caratteristiche dinamiche degli urti possibili e in particolare i seguenti aspetti:

- a) massa, velocità e superficie di contatto dei corpi che possono urtare le chiusure esterne sulla faccia interna e/o sulla faccia esterna;
- b) durezza dei materiali costituenti tali corpi e caratteristiche di forma significative;
- c) aree di possibile esposizione agli urti;
- d) implicazioni sulla sicurezza di persone e cose derivanti dagli urti e dalle loro conseguenze sulle chiusure esterne.

Caratteristiche

- a) massa, caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la chiusura esterna;
- b) finitura superficiale esterna e interna;
- c) durezza superficiale esterna e interna;
- d) durezza degli strati di supporto degli strati superficiali;
- e) resistenza degli strati superficiali e degli strati di supporto;
- f) fissaggio e collegamento della chiusura esterna al sistema strutturale portante dell'edificio;
- g) sicurezza di persone e cose;
- h) durata e affidabilità.

10. Requisiti di tenuta all'acqua

Descrizione

Capacità o attitudine di impedire che acqua di origine meteorica o di lavaggio raggiunga parti della chiusura stessa o dell'edificio che non sono state progettate per essere bagnate.

Caratteristiche

- a) caratteristiche della pioggia battente;
- b) dati climatologici della zona;
- c) dinamica del vento attorno all'edificio;
- d) probabilità di precipitazioni nevose e di fenomeni di rigelo;
- e) porosità del manto superficiale esterno;
- f) permeabilità dei materiali costituenti;
- g) geometria dei giunti;
- h) articolazione formale geometrica delle facciate;
- i) articolazione dei materiali di giunzione;
- l) permeabilità all'aria;
- m) resistenza al carico del vento e agli effetti del vento;
- n) comportamento alle variazioni di temperatura;
- o) permeabilità al vapore di acqua dei materiali costituenti;
- p) mantenimento nel tempo delle caratteristiche fisiche, chimiche e della geometria del paramento esterno;
- q) efficienza strutturale;
- r) capillarità e caratteristiche di finitura superficiale;
- s) presenza di drenaggi;
- t) condizioni di pressione e loro variabilità;
- u) possibilità di reazioni chimiche;
- v) modifiche delle caratteristiche meccaniche di coibenza e di trasmissione termica dei materiali;
- w) modifiche dei coefficienti di adduzione superficiale.

11. Requisiti relativi al contatto con i liquidi

Descrizione

Capacità o attitudine di resistere al contatto con i liquidi.

A titolo indicativo e non esaustivo si elencano alcuni liquidi di probabile contatto:

- a) acqua di varia origine e diversa composizione: piovana, di condensa, di fusione di neve, ghiaccio, grandine;
- b) acqua di lavaggio addizionata a detersivi di vario tipo;
- c) liquidi di origine organica (urina, liquami, ecc.);
- d) solventi, pitture, vernici;
- e) acidi, basi, sali in diversa soluzione e concentrazione.

In sede progettuale è necessario specificare i liquidi di probabile contatto nel contesto specifico.

Caratteristiche

- a) caratteristiche di permeabilità e di assorbimento delle zone di contatto con il liquido;
- b) capillarità e caratteristiche di finitura superficiale;
- c) concezione dei giunti;
- d) presenza di drenaggi;
- e) presenza di intercapedini intermedie ventilate o drenate;
- f) condizioni di pressione e temperatura a loro variabilità;
- g) ritenzione dello sporco, sbradolature, ecc.;
- h) lavabilità;
- i) possibilità di reazione chimica;
- l) modifiche alle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti;
- m) modifiche alle caratteristiche di coibenza e di trasmissione termica dei materiali costituenti;
- n) modifiche dei coefficienti di adduzione superficiale;
- o) modifiche alle proprietà elettrochimiche dei materiali;
- p) modifiche di coefficiente di assorbimento delle radiazioni;
- q) modifiche alle caratteristiche visive;
- r) altezza e collocazione dell'edificio nel contesto urbano e territoriale;
- s) orientamento dell'edificio;
- t) vento attorno all'edificio;
- u) efficienza strutturale.

12. Requisiti relativi al comportamento igrotermico

Descrizione

Capacità o attitudine di mantenere la temperatura della superficie interna il più possibile vicina a quella dell'aria dell'ambiente interno nelle varie situazioni di clima esterno e di clima interno previste, limitando al minimo l'apporto energetico degli impianti di climatizzazione (riscaldamento, raffreddamento, ventilazione) e controllando i fenomeni di condensa possibili.

In particolare il collegamento con il contesto adiacente dovrà essere concepito e realizzato in modo da ridurre i fenomeni dovuti a discontinuità della resistenza termica della parete esterna.

Caratteristiche

- a) profilo climatologico esterno;
- b) condizioni di comfort fisio-psicologico in relazione alle attività delle utenze previste all'interno;
- c) regime di irraggiamento solare;
- d) energia di gestione del contesto costruito;
- e) regime di condizionamento termico e impianto relativo;
- f) orari e stagioni di utenza;
- g) massa degli strati costituenti le chiusure esterne;
- h) massa degli strati costituenti i pavimenti, i solai, i divisori interni e i sistemi di copertura;
- i) coibenza dei materiali costituenti le chiusure esterne;
- l) coibenza dei materiali costituenti pavimenti e solai, divisori interni e sistemi di copertura;
- m) sistema di chiusura delle parti mobili delle chiusure esterne;
- n) sistema di oscuramento e schermatura solare;
- o) sistema di ventilazione (naturale e artificiale);
- p) presenza di discontinuità e giunti;
- q) permeabilità all'aria dei giunti;
- r) porosità e rugosità delle superfici esterne ed interne;
- s) colore della superficie interna ed esterna e loro coefficiente di assorbimento spettrale;
- t) movimenti dell'aria negli strati limite esterni, interni e intermedi;
- u) rapporto tra superficie trasparente e superficie opaca;
- v) resistenza e comportamento alle sollecitazioni derivanti dal carico del vento;
- w) permeabilità al vapore d'acqua;
- x) efficienza strutturale.

13. Requisiti di affidabilità

Descrizione

Capacità o attitudine di mantenere sensibilmente invariata nel tempo la qualità secondo precisate condizioni d'uso e mediante operazioni di:

- ispezione, cioè di supervisione analitica e sistematica allo scopo di individuare e denunciare segni di degrado, difetti incipienti, danni accidentali;
- prevenzione, cioè di intervento corrente necessario per evitare fenomeni critici e/o irreversibili;
- manutenzione, cioè di intervento di ripristino e sostituzione di parti, di elementi o di finiture superficiali che abbia-

no raggiunto il limite di vita economica relativo.

Caratteristiche

- a) efficienza strutturale;
- b) resistenza al carico del vento e ai suoi effetti collaterali;
- c) resistenza in caso di incendio;
- d) permeabilità all'aria;
- e) comportamento igrotermico;
- f) resistenza al contatto con i liquidi;
- g) resistenza a fenomeni elettrici, elettromagnetici e di irraggiamento;
- h) comportamento acustico;
- i) tenuta all'acqua.

14. Requisiti relativi a fenomeni elettrici, elettromagnetici e di irraggiamento

Descrizione

Capacità o attitudine di controllare gli effetti di fenomeni elettrici, elettromagnetici e di irraggiamento.

In sede di progettazione è necessario specificare la probabilità di tali fenomeni e la loro intensità allo scopo di derivare un comportamento adeguato delle chiusure esterne interessate.

Caratteristiche

- a) fenomeni di corrosione elettrolitica;
- b) sporcabilità per carica elettrostatica delle superfici;
- c) campi magnetici relativi ad apparecchi e/o condutture;
- d) rete elettrica e relativi collegamenti a terra;
- e) riscaldamento superficiale per assorbimento di radiazioni e dilatazione relativa;
- f) coesione fra sopporti e strati di finitura superficiale;
- g) resistenza alle temperature superficiali dei materiali di finitura e di complemento;
- h) caratteristiche dielettriche dei materiali impiegati;
- i) caratteristiche magnetiche dei materiali impiegati.

15. Requisiti ottici e visivi

Descrizione

Capacità o attitudine di garantire la possibilità di vedere dall'interno verso l'esterno, e viceversa quando desiderato, di controllare fenomeni di abbagliamento, di controllare l'illuminazione per lo svolgimento delle attività all'interno dell'edificio.

Caratteristiche

- a) controllo del comfort igrotermico;
- b) illuminazione naturale delle superfici e degli spazi utili;

- c) illuminazione artificiale delle superfici e degli spazi utili;
- d) bilancio termico ed energetico;
- e) sicurezza e protezione visiva;
- f) manutenzione e pulizia;
- g) comfort acustico;
- h) controllo del microclima interno.

16. Requisiti relativi all'operabilità delle parti mobili

Descrizione

Le parti mobili dei serramenti devono poter essere aperte e chiuse mediante l'applicazione di sforzi agibili dall'utenza e senza implicare operazioni pericolose.

I sistemi di chiusura e i relativi accessori devono essere in grado di sopportare e trasferire al contesto adiacente (telai fissi e componenti adiacenti) le sollecitazioni dovute al vento e le sollecitazioni derivanti dal peso proprio delle parti mobili nelle diverse posizioni di apertura.

Caratteristiche

- a) sicurezza degli utenti;
- b) resistenza al carico del vento;
- c) tenuta all'acqua;
- d) permeabilità all'aria;
- e) affidabilità e durabilità;
- f) rumorosità durante la manovra;
- g) rumorosità indotta dalla dinamica del vento;
- h) efficienza strutturale.

3. NORMATIVA

La normativa esistente in merito ai serramenti in PVC è molto nutrita ed è particolarmente interessante se viene inquadrata a livello internazionale.

A tale scopo si sono esaminate le norme riguardanti i serramenti in generale con particolare riguardo per quelli in PVC.

Sono stati considerati i paesi europei, gli Stati Uniti e la normativa edita da organi europei ed internazionali.

Constatando la presenza di numerose norme, difficilmente raffrontabili, si è creduto bene procedere ad un esame det-

tagliato in funzione della nazione e dell'organo emittente.

Quindi si è proceduto ad un'analisi ragionata confrontando le diverse prescrizioni in funzione delle prestazioni richieste al serramento esterno.

Le normative europee e internazionali

Gli enti che producono norme sono differenti ed operano a diverse scale territoriali e con ottiche più o meno generali, inoltre sono anche differenti le posizioni istituzionali.

Il quadro seguente offre una visione d'assieme.

ONU - Organizzazione di carattere politico che ha delle Commissioni tecniche a scala mondiale ed a scala regionale ECE/ONU. I riflessi più evidenti sono dati dall'accordo GATT (accordo doganale) per l'utilizzo della normativa ISO per identificare i prodotti.

CEE - Organizzazione europea a carattere politico con commissioni tecniche dipendenti (per quanto qui interessa) dalla direzione del mercato interno. Scopo delle commissioni è fissare le caratteristiche che devono circolare all'interno della comunità senza subire le barriere «tecnologiche».

M.ri Industria, Lavori Pubblici, Interni, ecc.

Organismi dell'apparato governativo italiano con compiti anche di regolamentazione tecnica specialmente per quanto attiene sicurezza ed incolumità pubblica. Sono gli organismi nazionali che partecipano ai lavori dell'ONU e CEE. In mancanza di adeguate strutture tecniche si appoggiano sull'UNI per le questioni di normazioni e ad esso hanno delegato anche la presenza in sede CEE per i problemi generali della normativa.

ISO - Organizzazione, fra gli enti nazionali di normazione, con carattere internazionale, riconosciuta dall'ONU. È il

	Livello internazionale	Livello europeo	Livello nazionale
Enti pubblici	ONU (ECE/ONU) (GATT)	CEE	M.ro Ind. Commerc. M.ro Lav. Pubbl. M.ro Lavoro M.ro Interni
Enti normaz.	ISO	CEN	UNI
Ist. ricer. tecnolog.	CIB RILEM	Ueatc	Icite Ist. del legno
Assist. categ.		FEMIB	Federlegno UNCSAALL ANCSPLAST

massimo organo di normazione che spazia in tutti i settori produttivi con una struttura centrale di coordinamento e segreteria dei Comitati Tecnici affidate ai singoli enti di normazione.

CEN - Organizzazione europea fra gli enti di normazione (paesi Europa occidentale) con scopo di armonizzare le norme dei paesi europei al fine di favorire gli scambi dei prodotti. Le norme CEN sono adottate senza modifiche dai vari paesi europei. Per alcuni lavori CEN c'è un mandato CEE che li considera quali basi per le sue direttive tecniche.

UNI - Ente Nazionale di normazione che raccoglie i vari operatori interessati alle norme tecniche usualmente espressione della ricerca e sperimentazione, della produzione, della committenza, Istituti di controllo, ecc. Analogamente all'ISO ed al CEN assume verso gli organismi governamentali (Ministeri) compiti di consulenza ed assistenza quando non vi sono addirittura specifici mandati (organismi corrispondenti all'UNI nei vari paesi sono BSI, AFNOR, DIN, ecc.).

CIB, RILEM, ecc. - Associazioni fra Istituti di ricerca e laboratori sperimentali con lo scopo di scambiare le singole esperienze, e per verificare la validità dei metodi di controllo dei materiali e prodotti per l'edilizia. Le metodologie RILEM, CIB, ecc. sono la base per norme ISO.

Ueatc - Associazione fra i laboratori di sperimentazione tecnologica per materiali e componenti edilizi con lo scopo di effettuare verifica delle esperienze e mettere a punto metodi di prova coordinati allo scopo di rilasciare agreement su materiali non tradizionali. Questa iniziale funzione si sta trasformando in coordinamento dei metodi di prova per il controllo della qualità dei componenti e prodotti edilizi e per il rilascio di certificati riconosciuti reciprocamente. Gli agreement vengono appoggiati alle norme EN via via che queste sono acquisite (anche grazie al contributo sperimentale offerto dai laboratori Ueatc).

ICITE - Laboratorio del CNR per la tecnologia edilizia, membro italiano dello Ueatc che partecipa alla stesura delle direttive ed i cui certificati sono riconosciuti in base alle direttive Ueatc, degli altri paesi. È anche membro del CIB.

Istituto del legno - Laboratorio del CNR per la tecnologia del legno e suoi prodotti, si occupa degli impieghi in edilizia ed in questo si affianca, con visione di settore, all'attività icite.

ITALIA - La normativa italiana sul-

l'argomento è stata emanata dall'UNI e dall'organo associato UNIPLAST per ciò che riguarda i prodotti in materiale plastico. Inoltre sono state accettate le norme europee (EN) e trasformate in UNI-EN per le prove di tipo funzionale.

L'elenco delle normative vigenti è riportato nello schema seguente:

UNI 7518 - Criteri generali per l'elaborazione di norme basate sulle esigenze dell'utenza.

UNI 7519 - Lista di controllo delle richieste di prestazioni.

UNI 7520 - Criteri generali per la definizione dei metodi di prova e di controllo delle prestazioni.

UNI 7521 - Termini e definizioni relativi alle prove e controlli delle prestazioni.

UNI 7522 - Tenuta all'acqua.

UNI 7524 - Resistenza alle sollecitazioni derivanti dall'utenza normale.

UNI 7525 - Sequenza normale per l'esecuzione di prove funzionali.

UNI 7143 - Spessore dei vetri piani per vetratura in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico di neve.

UNI 7144 - Vetri piani. Isolamento termico.

UNI 7170 - Vetri piani. Isolamento acustico.

UNI-EN42 - Prova di permeabilità all'aria.

UNI-EN77 - Prove di resistenza al vento.

UNI-EN78 - Presentazione del resoconto di prova.

UNI-EN86 - Prova di tenuta all'acqua sotto pressione statica.

UNI-EN107 - Prove meccaniche.

UNI 7979 - Serramenti esterni (verticale). Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento.

UNI 8204 - Serramenti esterni. Criteri di classificazione e scelta relativi alle prestazioni acustiche.

UNI 6213-68 - Profilati in PVC rigido per persiane avvolgibili. Tipi e caratteristiche.

UNI 6214-68 - Idem. Metodi di prova.

UNI 7351-74 - Mescolanze non plastificate di omopolimero e di copolimeri del cloruro di vinile. Sistema di classificazione.

UNIPLAST 392 - UNI 8648 - Profilati in PVC rigido per serramenti requisiti.

UNIPLAST 393 - UNI 8649 - Profilati in PVC rigido per applicazioni edilizie, metodi di prova generali.

CNR-UNI 10012 - Ipotesi di carico sulle costruzioni.

UNI 7357 - Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici.

Legge 373 30/4/1976

UNI 7320 - Prove su elastomeri.

UNI 7320 - Prove su elastomeri.

CSE RF2/RF3 - Reazione al fuoco dei materiali.

Circolare 91 - Resistenza al fuoco dei materiali.

UNI 7678 - Elementi costruttivi, prove di resistenza al fuoco.

UNI-ISO 3008 - Prove di resistenza al fuoco (serramenti).

UNI-ISO 3009 - Prove di resistenza al fuoco (vetro).

Francia

L'ente di normazione francese AFNOR ha emanato una serie di norme col marchio NF riguardante i serramenti esterni. Inoltre ha riproposto, con la sigla NF, le indicazioni europee EN, come già è stato riportato per l'Italia.

La normativa francese prevede le seguenti direttive:

NF P 20-501 - Metodo di prova di finestre.

NF P 20-502 (EN 42) - Prova di permeabilità all'aria.

NF P 20-503 (EN 77) - Prova di resistenza al vento.

NF P 20-504 (EN 78) - Prestazione del rapporto di prova.

NF P 20-505 (EN 86) - Prova di tenuta all'acqua con pressione statica.

NF P 20-506 (EN 107) - Prove meccaniche.

Germania

La normativa tedesca prevede tre caratteristiche basilari (funzionali, acustica e termica), per tutto ciò che concerne alle prove meccaniche e di tenuta all'aria sono state riprese le norme europee EN.

DIN 18055 - Requisiti e metodi di prova per la permeabilità all'aria la tenuta all'acqua e la resistenza meccanica dei serramenti.

DIN 52619 - Determinazione del coefficiente di trasmittanza termica dei serramenti.

DIN 4109 - Caratteristiche acustiche dei componenti per l'edilizia.

DIN 4102 - Comportamento al fuoco dei materiali in edilizia.

DIN-EN 42 - Prove di permeabilità all'aria.

DIN-EN 77 - Prove di resistenza alla pressione.

DIN-EN 78 - Modalità per la compilazione del rapporto di prova.

DIN-EN 86 - Prova di tenuta all'acqua con pressione statica.

DIN-EN 107 - Prove meccaniche.

Inghilterra

L'unica norma rintracciata è stata la BSI DD 4/1971 riguardante le caratteristiche prestazionali dei serramenti esterni quali la tenuta all'acqua, al vento ed all'aria.

Europa

Per norma europea viene solitamente intesa quella direttiva emessa con la sigla EN dall'organo designato (il CEN).

Queste norme sono già state riportate nei paragrafi precedenti relativi ai paesi aderenti alla comunità europea e trascritte dai rispettivi organi di normazione.

Esiste anche un'associazione, a respiro europeo, denominata Ueatc (Union Européenne Pour l'Agreement technique dans la Construction) che coinvolge numerosi laboratori (uno per paese) e che in Italia è rappresentata dall'ICITE (Istituto centrale per l'industrializzazione e la tecnologia edilizia; organo del CNR).

L'Ueatc è un organismo di rilevante importanza in quanto permette di ottenere certificati (definiti Agreement) idonei all'esportazione dei prodotti in tutti i paesi aderenti all'iniziativa.

Le prescrizioni vengono definite «direttive comuni» e per i serramenti esterni sono le seguenti:

ICITE-UEAtc - Direttive comuni per l'agreement tecnico delle finestre.

ICITE-UEAtc - Direttive comuni per l'agreement tecnico delle finestre in PVC.

ICITE-UEAtc - Direttive comuni per la valutazione dei prodotti in PVC rigido utilizzato all'esterno in edilizia.

Stati Uniti

Le norme reperite e che verranno riportate riguardano l'ente ASTM che prescrive n. 6 specifiche:

ASTM E 283 - Prova di tenuta all'aria.

ASTM E 330 - Prova di resistenza al vento.

ASTM E 405 - Prova di tenuta all'acqua.

ASTM E 413 - Determinazione del potere fonoisolante dei serramenti.

ASTM E 163 - Metodo per la prova al fuoco di serramenti.

ASTM C 236 - Metodo per la determinazione della trasmittanza termica.

Internazionali

La normativa internazionale è emanata dalla ISO che prescrive le seguenti procedure di prova:

ISO 6612 - Prova di resistenza al vento.

ISO 6613 - Prova di permeabilità all'aria.

ISO DIS 7025 - Prova di resistenza all'acqua.

ISO 140 - Misura dell'isolamento acustico.

ISO R 717 - Grado di isolamento acustico delle abitazioni.

Canada

Oltre alle classiche di resistenza al vento, permeabilità all'aria e resistenza all'acqua, vi è una prescrizione molto particolare che riguarda la condensa superficiale della parte opaca e trasparente del serramento.

4. CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

Le caratteristiche prestazionali vengono usualmente determinate per via sperimentale con metodologie riportate nelle norme precedentemente riportate in modo da soddisfare ai requisiti del paragrafo 2.

Ad ogni singola caratteristica corri-

Sintesi di tutte le norme Europee ed Internazionali sui serramenti.

Argomento	Norma	UNI	EN	ISO	UEAtc	AFNOR	DIN	BSI	ASTM
1. Classificazione in base alla: Permeab. all'aria Tenuta all'acqua Resist. al vento		7979	—	—	Direttive delle finestre	P20-302 P20-502	18055	DD4/1971	—
2. Comport. alla azione dell'acqua Tenuta all'acqua		7522	86	DIS-7025	Direttive delle finestre	P20-505	DIN EN 86	—	E 331
3. Comport. ad azione aria/vento Permeab. all'aria Comport. al vento		UNI EN 42 UNI EN 77	42 77	6617 6612	Direttive delle finestre	— P20-503	DIN EN 42 DIN EN 77	— —	E 283 E 330
4. Comport. ad azioni meccaniche		UNI EN 107	107	—	Direttive delle finestre	P20-506	DIN EN 107	—	F 405
5. Comport. ad azioni termiche		—	—	—	Direttive delle finestre	—	52619	—	C 236
6. Comport. ad azioni acustiche		8204	—	140/III 140/IV R 717	Direttive delle finestre	—	4109	—	E 413
7. Comport. al fuoco		Norma naz.	—	834	Direttive delle finestre	Norma naz.	4102	476	E 163

sponde un'apparecchiatura specifica per la sperimentazione.

In questa sede non sarà possibile approfondire ed analizzare in toto le singole caratteristiche ma viene fornito un elenco sommario delle apparecchiature per meglio comprendere i valori delle prove sperimentali stesse.

a) camere di simulazione del vento e dei cicli di temperatura.

Questa apparecchiatura permette di determinare:

- resistenza al vento;
- tenuta all'acqua;
- permeabilità all'aria;
- condense superficiali;
- analisi con la termovisione all'infrarosso;
- cicli di invecchiamento con caldo-freddo;
- cicli di invecchiamento con sole-pioggia.

b) camere riverberanti per le determinazioni di caratteristiche acustiche;

c) camere per la determinazione della reazione al fuoco dei materiali;

d) forno per la determinazione della resistenza al fuoco dei sistemi;

e) apparecchiature meccaniche per la determinazione della resistenza dei profili e delle saldature;

f) banco di prova per cicli di durata a fatica con apertura e chiusura del serramento;

g) camere termostate per la determinazione delle caratteristiche in regime straordinario;

h) camere termostate per la determinazione degli apporti solari in regime variabile.

5. PROPOSTE

Nella problematica complessa della serramentistica è difficoltoso proporre alternative valide od innovazioni che non siano state sottoposte da tempo.

Le proposte personali riguardano tre argomenti:

a) prova sperimentale scandinava messa a punto recentemente per la determinazione delle caratteristiche del serramento con un unico test comprendente cicli di caldo-freddo, pioggia irraggiamento infrarosso e u.v., colpi di vento della durata complessiva di 45 giorni;

b) eliminazione del falso telaio incrementando lo studio e la progettazione di un sistema che sia in grado di assorbire le tolleranze di realizzazione del vano nella muratura;

c) serramenti con sistema di isolamento dinamico mediante fili plastici movibili.

Quest'ultima proposta verrà ampiamente discussa ed analizzata nel convegno che si terrà a Torino in ottobre a cui tutto ciò viene per ora rimandato.

BIBLIOGRAFIA

1) AA.VV. - *Manuale dei serramenti metallici e plastici* - Tecnomedia, 1983.

2) U. Monaco - *Ricerca sulla tenuta all'aria dei serramenti* - Relazione tecnica Montedipe-CSI per il CNR nell'ambito del P.F.E. - Settembre 1979.

3) M. Piana, U. Flisi, U. Monaco - *Determinazione della trasmittanza termica dei serramenti mediante HOT-BOX* - Relazione tecnica Montedipe-CSI per il CNR nell'ambito del P.F.E. - 1982-1983-1984.

4) U. Flisi, M. Piana - *Determination of heat transmittance of windows by means of the HOT-BOX test method* - Goteborg, Sweden - 1984.

5) M. Piana, U. Flisi - *Il problema delle infiltrazioni e dei ricambi d'aria* - Relazione tecnica Montedipe-CSI per il CNR nell'ambito del P.F.E. - 1985-1986.

6) M. Piana, C. Bolognese - *Analisi della normativa internazionale sui serramenti in PVC* - Montedipe-CSI - 1984.

7) Atti del convegno «La Profilé fenêtre PVC» - Parigi 1980.

Il contributo dei serramenti in PVC negli incendi

Mi è stato chiesto di focalizzare il contributo dei telai di finestre in PVC in un incendio. A tale scopo è necessario fare dei confronti; benché non sia la prima volta che vengo in Italia, la conoscenza del Vostro Paese è assai limitata, cosicché mi riferirò all'esperienza da me maturata nel Regno Unito.

Le materie plastiche vengono attualmente impiegate su vasta scala nell'edilizia ed è stato espresso un rilevante interesse riguardo i rischi verificatisi, o che potrebbero verificarsi, quando questi materiali vengono coinvolti in un incendio.

Questo interesse è stato sollevato da incidenti provocati da piccoli incendi domestici in cui, a quanto è stato riferito, l'incendio che ha coinvolto arredamento in espansi plastici si è sviluppato più rapidamente ed ha prodotto più fumo di quello che ha coinvolto materiali tradizionali, causando disastri di maggiori proporzioni come quelli verificatisi a Summerland nelle isole di Man e a St. Laurent Du Pont in Francia, nei quali i materiali plastici sono stati coinvolti in larga misura, sebbene sia risultato chiaro, soprattutto nel caso Summerland, che molti altri fattori, al di là dell'impiego di materiali plastici, hanno contribuito alla dimensione del disastro.

Lo sviluppo dei materiali plastici in edilizia in sostituzione di materiali tradizionali è avvenuto perché sono di più facile produzione, più economici e sono in grado di soddisfare le esigenze applicative non certo in misura inferiore ai materiali tradizionali.

Questi materiali costituiscono una rilevante parte delle costruzioni, nella finitura delle superfici interne, come materiali non strutturali in intercapedini e in componenti vari.

Nell'ultimo caso i materiali plastici presentano specifici vantaggi rispetto ai materiali tradizionali in quanto sono leggeri, le loro proprietà meccaniche possono essere adeguate ad esigenze specifiche e possono essere stampate in forme complesse.

Nel Regno Unito abbiamo un sistema statistico molto esauriente e dettagliato con cui viene registrato ogni incendio e siamo in grado di identificare quale parte di una costruzione e quali contenuti di essa siano responsabili degli incendi in cui si sono verificati dei decessi.

Circa l'80% dei decessi per incendio si verificano nelle abitazioni: essi ammontano a 700-800 persone all'anno.

Una semplice spiegazione del motivo

di R.A. Graham

(Brigata dei Vigili del Fuoco di Manchester)

per cui una percentuale così elevata di decessi per incendio si verifica nelle abitazioni, dovrebbe essere che, mentre i luoghi di lavoro, gli alberghi, i cinema ed in genere i luoghi di trattenimento sono soggetti ad una legge per il controllo delle strutture e di ciò che contengono, per quanto concerne le abitazioni, la legge si occupa solo delle strutture delle costruzioni e non di ciò che esse contengono; io farò riferimento all'importanza di questi ultimi materiali.

Nel Regno Unito, il Dipartimento dell'Ambiente del Governo di Sua Maestà, controlla l'uso dei materiali nelle costruzioni mediante le «Building Regulations».

Nessuno può erigere o modificare una costruzione senza aver ottenuto l'approvazione delle Autorità che si basa sulle «Building Regulations».

Le «Regulations» sono molto complesse e non desidero entrare in dettagli, ma mi basta dire che il loro primo obiettivo riguarda anzitutto la sicurezza degli abitanti e poi quella delle strutture.

Le Regulations sono soggette a continua revisione: le maggiori modifiche hanno avuto luogo nel 1985, mentre ulteriori modifiche sono ora sotto esame con l'individuazione dei rischi, l'esperienza è disponibile per metterli sotto controllo.

Non ci sono restrizioni per quanto riguarda l'impiego di telai in PVC e a quanto ne so, non c'è alcun interesse di limitarne l'impiego in futuro.

Questo giudizio è sorretto dalle statistiche degli incendi nel Regno Unito, delle quali ho parlato precedentemente.

Per esempio nel 1984 si verificarono 175 incendi in abitazioni che avrebbero potuto coinvolgere telai di finestre; parlo di possibilità in quanto le statistiche non differenziano ciò che si trova su un muro o una parete divisoria.

Non è possibile dire ora quanti di questi telai finestre coinvolti avrebbero potuto essere di PVC: nessun evento letale fu originato da essi che costituiscono una piccola parte dei 2800 incendi che presero origine dall'ignizione di strutture o di materiale contenuto in costruzioni.

Questi 2800 incendi a loro volta furono

non solo il 4% del numero totale di incendi in abitazioni che si verificarono nel 1984 nel Regno Unito.

Nei miei 25 anni di servizio non mi è mai capitato di vedere un incendio iniziato da un telaio di finestra di PVC e io penso che le statistiche confermino che i telai di finestre in PVC possano essere trascurati come causa di incendio.

Sfortunatamente lo stesso non si può dire per altre materie plastiche, specie quando vengono usate per mobili e arredamento, dal momento che incendi iniziati da tappezzerie e arredi sono stati responsabili di 400 decessi da incendi nello stesso periodo.

Gli incendi originatisi in isolamenti elettrici provocarono 32 decessi.

Io penso che in conclusione ciò dia la misura dei serramenti in PVC quale causa di incendi; ma ci sono problemi sollevati a proposito dei serramenti in PVC.

Anzitutto vi è il rischio di tossicità per gli abitanti quanto il PVC viene coinvolto in un incendio e in secondo luogo, dal punto di vista di un pompiere vi è il problema se un precoce cedimento del telaio di un serramento permette al fuoco di svilupparsi a causa di una ventilazione incontrollata.

Parliamo anzitutto del problema della tossicità. Nel Regno Unito la stragrande maggioranza dei decessi per incendio che si verificano ogni anno è da attribuire agli effetti del fumo e dei gas tossici. Vi è una tendenza crescente fin dal 1955, anche se il numero totale degli incendi è rimasto approssimativamente costante. Le ricerche condotte hanno indicato che i più importanti gas ad effetto narcotico prodotti negli incendi sono il monossido di carbonio e l'acido cianidrico spesso accompagnati da un basso livello di ossigeno e da un alto livello di anidride carbonica. Il più importante gas narcotico è il monossido di carbonio. L'intossicazione da questo gas è estremamente insidiosa in quanto concentrazioni anche molto basse, per un lungo periodo di tempo possono portare a risultati letali.

Ogni materiale che brucia produce gas tossici, ma è la velocità alla quale si producono questi gas e la quantità prodotta che determinano se l'incendio produrrà risultati letali o meno. Ovviamente ambedue questi fattori sono governati dalla velocità di combustione e il maggior problema del momento nel Regno Unito, che determina il maggior numero di decessi, è il comportamento dei mobili imbottiti quando sono coinvolti nell'incen-

dio. Questi mobili rilasciano quantità così rilevante di gas estremamente tossici ed ad alta temperatura in tempi così che il coinvolgimento di ogni altro materiale (per esempio rivestimenti murali) ha una piccola rilevanza agli effetti del rischio derivante dall'incendio. Ciò è stato riconosciuto nel Regno Unito e come risulta la legge si preoccupa al momento di controllare l'inflammabilità dei mobili imbottiti ed è in fase di revisione per restringere gli standards. Una direttiva è stata recentemente elaborata sotto forma di British Standards per letti e materassi con un approccio simile a quello seguito per mobili imbottiti.

Allora quale ruolo hanno i serramenti di PVC nel rischio da gas tossici prodotti in incendi domestici? Abbiamo già visto dai dati statistici riferiti, che la probabilità che i telai-finestra in PVC prendano fuoco nelle prime fasi di un incendio è praticamente inesistente. La natura stessa del PVC, che è autoestingente, significa anche che occorre che esso venga assalito da una fiamma perché possa produrre gas da combustione. Questo aspetto associato con le nostre conoscenze sul comportamento degli incendi negli edifici e sullo sviluppo di gas dagli incendi, ci offre la possibilità di prevedere il contributo dei telai in PVC nel rischio da gas tossici.

Ogni incendio che si sviluppa in una stanza in grado di incendiare un telaio-finestra in PVC e di sostenerne la combustione produrrà anche gas tossici lui stesso. Se l'incendio è rilevante esso provocherà la rottura dei vetri della finestra col risultato che un flusso di gas si riverserà dall'interno della stanza verso l'aria esterna. Pertanto ogni gas prodotto dalla combustione del PVC verrà portato all'esterno dal flusso naturale di gas prodotti dall'incendio che coinvolge altri materiali e darà quindi un contributo minimo al rischio di gas tossici entro la stanza o nel fabbricato, in paragone ai gas prodotti (ad esempio quelli derivanti dalla combustione di mobili imbottiti) di elementi di arredo in plastica, rivestimenti murali, altri mobili e oggetti contenuti nella stanza). Mentre si può ritenere che la combustione del PVC in prove di laboratorio generi gas tossici quali acido cloridrico e ossido di carbonio, nelle reali condizioni di incendio è assai improbabile

che possa essere coinvolto in un incendio da esso iniziato. Pertanto è necessario prendere in considerazione il contributo degli altri materiali coinvolti nell'incendio. Se altri componenti in PVC sono interessati nell'incendio essi indubbiamente daranno un contributo al rischio, mentre i serramenti in PVC, essendo all'esterno dello stabile hanno solo ragionevolmente la possibilità di essere coinvolti se è in atto un incendio nel fabbricato e non contribuiranno significativamente alle condizioni di pericolo all'interno di esso.

Per quanto riguarda la considerazione che un precoce cedimento delle finestre può accelerare il divampare di incendi fortuiti, si è detto che i telai in PVC possono rammollire facendo cedere l'intero serramento e creando un ulteriore pericolo per i vigili del fuoco. In questo caso siamo favoriti dal fatto che abbiamo a disposizione i risultati di alcune ricerche pratiche condotte dalla Fire Research Station in Inghilterra per conto del British Plastic Windows Group. Devo precisare che la Fire Research Station è una struttura del British Research Establishment del Dipartimento dell'Ambiente che, come ricorderete, preparata in Inghilterra leggi e regolamenti per l'edilizia. La ricerca aveva per obiettivo di paragonare il comportamento dei serramenti in PVC con quello dei tradizionali serramenti in legno. Furono sottoposti a prove due tipi di serramenti in PVC ed il comportamento di ciascuno fu paragonato a quello dei tradizionali in legno, in due tipi di incendio in un ambiente simulante un locale nell'impianto per test di Cardington. I due tipi di incendio furono: un incendio controllato con ampio carico di combustibile senza ventilazione; l'altro era un incendio controllato con medio carico di combustibile e con ventilazione. Furono misurate le concentrazioni di ossigeno, di biossido di carbonio, di monossido di carbonio, di acido cloridrico in posizioni prescelte. Furono effettuate misure di temperatura in diverse posizioni entro e fuori la stanza e anche in determinate posizioni sulla superficie del vetro e del telaio di tutte le finestre. La prova dimostrò che i vetri si ruppero e caddero quando si raggiunsero temperature di 250°-400°C. I tempi ed i modi di rottura dei vetri variavano in

modo casuale, ma tuttavia quando cedette il primo vetro, l'incremento di ventilazione cambiò il regime di combustione e le restanti lastre di vetro cedettero. Quanto tutti i vetri si ruppero i telai in PVC cedettero gradualmente per spostamento dei tratti appesi e di quelli orizzontali, ma la maggior parte del telaio rimase in situ. I telai in legno, d'altro lato, continuarono a bruciare anche dopo esaurimento del combustibile, ma rimasero nella loro posizione. I valori limite raggiunti per il monossido di carbonio e l'acido cloridrico furono rispettivamente 50 e 5 parti per milione, indicando che il monossido di carbonio prodotto in questo test è almeno altrettanto pericoloso dell'acido cloridrico. Il test ha indicato che le finestre in PVC al momento non creano rischi inaccettabili e non accelerano lo sviluppo di incendi accidentali.

Dovrei fare una puntualizzazione riguardo i doppi vetri, sia in telai in legno, sia alluminio o PVC; a causa del rischio di incendio derivante dal contenuto della maggior parte delle abitazioni noi raccomandiamo che tutte le stanze abitabili nelle case e appartamenti di non più di due piani debbano avere una finestra apribile attraverso la quale le persone possano fuggire in caso di incendio. Le dimensioni minime di essa dovrebbero essere all'incirca 800 x 500 mm.

Può essere interessante ricordare che circa 20 anni fa il ministro della tecnologia nel Regno Unito, raccomandando l'uso di lucernai in PVC ondulato per dare sfogo agli incendi in costruzioni ad un piano. Non vi erano indicazioni allora sulla possibilità che prodotti tossici aggredissero gli occupanti o i vigili del fuoco ed io penso che la possibilità che ciò si verifichi è anche più remota quando solo il telaio piuttosto che l'intera chiusura è in PVC.

Vorrei concludere riferendo un'informazione emersa nel Regno Unito da incendi reali, incendi simulati e dall'analisi di dati statistici raccolti da incendi reali: questi indicano senza ombra di dubbio che non è la costruzione per se stessa ma ciò che viene introdotto in essa in termini di mobili, arredamenti, ecc., che crea un problema e noi dovremmo rivolgere la nostra attenzione a questo piuttosto che al coinvolgimento di elementi della struttura. ■

Serramenti esterni di PVC nel recupero edilizio

Premessa

Tutti i produttori ed i venditori di serramenti in PVC avranno provato spesso il disagio di offrire il loro prodotto ad un interlocutore, proprietario o progettista, aprioristicamente prevenuto nei confronti dell'uso del materiale plastico in un contesto di edilizia storica.

Tale prevenzione è molto diffusa soprattutto tra i cultori di beni ambientali, alla cui categoria credo di poter a buon diritto appartenere.

Tuttavia occorre sottolineare che, in realtà, non esistono materiali o tecnologie che dal punto di vista culturale ed estetico siano di per sé e sempre compatibili con l'edilizia storica ed altri, invece, comunque e necessariamente inammissibili.

La discriminante tra il lecito e l'illecito in questo campo è molto sottile e complessa, e passa attraverso la valutazione di numerosi fattori quali la modalità di impiego del materiale, la sua finitura esteriore, il suo inserimento nel contesto ambientale, le caratteristiche del suo invecchiamento, ecc.

Nel corso della relazione cercherò di indicare quali siano, a mio parere, i requisiti che i serramenti esterni in PVC dovrebbero presentare per essere accettati nel recupero edilizio e gli eventuali limiti di applicazione. Ma prima di entrare in questo appassionante tema mi è stato chiesto di accennare sinteticamente alle caratteristiche prestazionali dei serramenti in PVC, anche in relazione ai costi.

Caratteristiche prestazionali dei serramenti esterni in PVC

Data la limitatezza del tempo a disposizione, esporrò solo le considerazioni essenziali, sintetizzando l'ampia relazione sul tema tenuta con grande autorevolezza dal prof. Francesco Reale, Ordinario di Fisica tecnica nella Facoltà di Ingegneria di Napoli, in occasione del Convegno «Serramenti in materie plastiche nell'edilizia», che si è svolto a Napoli nell'aprile 1986.

Con riferimento alle tavole A, B e C osserviamo che su 30 difetti individuati come ricorrenti nei serramenti in legno, metallo e PVC, pochissimi sono quelli che interessano in modo considerevole i serramenti in PVC.

In particolare osserviamo che:

— la trasmissione del calore interessa soprattutto il serramento di metallo, perché questo materiale presenta elevata

di Alfredo Castiglioni

conduttività rispetto al legno ed al PVC;

— la trasmissione del rumore interessa ancora soprattutto il serramento di metallo, a causa di particolari fenomeni di risonanza che aumentano la trasmissione sonora nei telai realizzati con questo materiale;

— l'infiltrazione di aria interessa soprattutto il serramento in legno, perché le tenute sono generalmente poco perfezionate;

— l'infiltrazione di vapore interessa soprattutto il serramento in legno, perché segue il flusso dell'aria;

— l'infiltrazione di polveri interessa soprattutto i serramenti in legno ed in metallo, perché in questi infissi è difficoltoso realizzare i percorsi tortuosi per l'aria che ottengono l'effetto di far depositare le polveri;

— la condensa sul telaio interessa esclusivamente il serramento in metallo ed in particolare in alluminio, a causa della citata elevata conduttività di questi materiali;

— l'impregnazione d'acqua interessa solo il serramento in legno perché si tratta di un materiale assorbente che marcisce facilmente. Nel PVC l'assorbimento

Tav. A - Problemi e possibili difetti dei serramenti esterni

		Legno	Metallo	PVC
1	Trasmissione calore		●	
2	Trasmissione rumore		●	
3	Infiltrazioni aria e vapore	●		
4	Infiltrazione polveri	●	●	
5	Infiltrazioni acqua	●		
6	Condensa sul vetro	●	●	●
7	Condensa tra i vetri	●	●	●
8	Condensa sul telaio		●	
9	Impregnazione acqua	●		
10	Alterazioni chimiche	●	●	

d'acqua è praticamente inesistente;

— le alterazioni chimiche interessano in maniera notevole il serramento in legno che si degrada e quello in metallo che si ossida;

— i rigonfiamenti interessano solo il serramento in legno;

— lo scrostamento della vernice interessa i serramenti in legno e quelli in metallo (esclusi quelli a bagno);

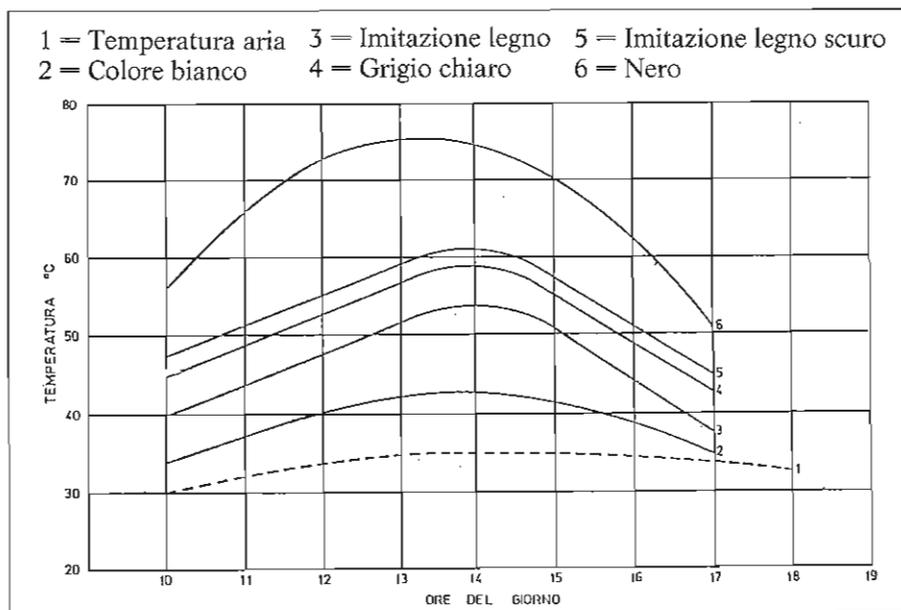
— la dilatazione termica interessa i

Tav. B - Problemi e possibili difetti dei serramenti esterni (cont.)

		Legno	Metallo	PVC
11	Abrasione	●	●	●
12	Fragilizzazione		●	●
13	Rigonfiamenti	●		
14	Scrostamento vernice	●	●	
15	Dilatazione		●	●
16	Deformazione da urto molle	●	●	●
17	Rottura da urto duro	●	●	●
18	Sconnessione parti	●		
19	Deterioramento vernici per UHV	●	●	
20	Deterioramento vernici per acqua	●	●	

Tav. C - Problemi e possibili difetti dei serramenti esterni (cont.)

		Legno	Metallo	PVC
21	Adesione polveri	●	●	●
22	Adesione grassi	●	●	●
23	Assorbimento gas	●	●	●
24	Rammollimento			●
25	Disassamento cerniere	●	●	●
26	Disallineamento ante	●		
27	Vibrazione vetri	●		
28	Vibrazione telai	●		
29	Decadimento guarnizioni		●	●
30	Guasti manigliera	●	●	●



Tav. D - Temperature superficiali di lastre di 3 mm di spessore esposte ad inclinazione in una giornata d'estate in ambiente non ventilato.

serramenti in metallo ed in PVC, stante il loro alto coefficiente, e molto meno quelli in legno;

— la sconessione delle parti riguarda soprattutto il serramento in legno (in particolare gli angolari, che sono un punto debolissimo);

— il deterioramento delle vernici a causa dei raggi ultravioletti riguarda gli infissi in legno e quelli metallici verniciati;

— il deterioramento delle vernici a causa dell'acqua riguarda gli infissi in legno e alcuni tipi di serramenti metallici;

— il rammollimento è l'unico difetto che interessa esclusivamente il serramento in PVC. La temperatura di rammollimento risulta di circa 80°C per i profilati

non antiurtizzati e di 75°C per quelli antiurtizzati. Naturalmente il rammollimento è in diretta connessione con l'esposizione solare e varia a seconda del colore del serramento. Le situazioni più sfavorevoli si registrano con serramenti scuri (marrone, nero, ecc.; vedere tav. D);

— il disallineamento delle ante si verifica soprattutto nei serramenti di alluminio;

— le vibrazioni dei vetri sono particolarmente sentite nei serramenti in legno, per la difficoltà della precisione richiesta nel montaggio stabile della vetratura;

— il decadimento delle guarnizioni interessa invece i serramenti in metallo ed in PVC, perché quelli in legno normalmente non ne hanno.

La tavola E illustra che la trasmittanza del serramento (nudo o con schermo) con qualunque tipo di vetratura (vetro semplice o doppio, doppia finestra) migliore per PVC e legno rispetto al metallo.

Inoltre osserviamo che gli infissi metallici dovrebbero essere messi a terra per rispettare le norme CEI, almeno nel caso di edifici pubblici. Invece il problema non si pone per PVC e legno.

Esaurite queste sintetiche considerazioni, osserviamo che le caratteristiche prestazionali dei serramenti in PVC sono soggette alle stesse procedure di determinazione di quelle dei serramenti in legno ed in metallo.

Esistono in commercio in Italia serramenti in PVC che hanno superato i test dell'Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia (ICITE), che è l'organismo del Consiglio Nazionale delle Ricerche deputato alla certificazione rispetto alle norme europee UEAtc, a cui si conformano anche le norme UNI (ente nazionale di unificazione).

Sono da qualche tempo disponibili alcune guide alla formulazione delle prestazioni di serramenti esterni in PVC da introdurre nei capitolati speciali d'appalto, che raccomandiamo di seguire a tutti i tecnici che operano nel settore della progettazione edilizia¹.

In modo particolare da parte delle so-

¹ Citiamo in primo luogo le esaurienti Raccomandazioni per l'installazione di serramenti esterni e di sistemi di oscuramento in PVC, edito dall'Istituto Italiano dei plastici (pubblicazione n. 5 del novembre 1986). Ricordiamo anche la molto più succinta proposta di prescrizioni per i serramenti esterni in PVC avanzata dalla Fersina (pubblicata sulla rivista Serramenti & PVC, anno I, n. 3).

Tav. E - Trasmittanza dei serramenti verticali esterni (W/m²K)

Tipo di vetratura	Spessore nominale della lama d'aria mm	Natura del telaio	Trasmittanza del serramento nudo	Trasmittanza media giorno/notte del serramento con schermo	
				tapparelle o ante piene	altri casi
vetro semplice	—	legno, PVC	5,0	3,7	4,2
		metallo	5,8	4,2	4,8
vetro doppio	6	legno, PVC	3,3	2,6	2,9
		metallo	4,0	3,1	3,4
	8	legno, PVC	3,1	2,5	2,8
		metallo	3,9	3,0	3,3
	10	legno, PVC	3,0	2,1	2,7
		metallo	3,8	2,9	3,2
	12	legno, PVC	2,9	2,1	2,6
		metallo	3,7	2,9	3,2
doppia finestra	≥ 30	legno, PVC	2,6	2,1	2,3
		metallo	3,0	2,5	2,7

cietà aderenti all'Associazione SI-PVC, sono rispettate le normative UNI relative ai «profilati di PVC rigido non plastificato per serramenti esterni», le caratteristiche meccaniche e termiche degli stessi previste dal marchio di conformità IIP, la certificazione ICITE sulle prestazioni del serramento.

Da quanto brevemente illustrato emerge che, se ben costruiti nel rispetto delle normative raccomandate, i serramenti in PVC offrono prestazioni elevate e spesso superiori a quelle dei serramenti in legno e in metallo. Chiarito questo punto, possiamo procedere ad accennare brevemente alla tematica dei costi.

Considerazioni orientative sui costi

Nonostante sia difficile esprimere un giudizio in termini generali, possiamo affermare che in relazione alla situazione attuale del mercato²:

— un serramento in legno di ottima fattura costa più di quello standard in PVC;

— un serramento in alluminio senza taglio termico, ma di buona qualità, costa quanto un serramento standard in PVC;

— un serramento in alluminio con taglio termico, e quindi di ottima qualità, costa oltre il 50% in più di un serramento standard in PVC (che risulta quasi sempre migliore come valore di trasmittanza);

— un serramento in legno di scarsa qualità può costare molto meno di quello standard in PVC;

— un serramento scadente in ferro costa il 50% in meno di quello standard in PVC;

— un serramento in metallo di buona qualità costa il 30% circa in meno di quello standard in PVC e di quello in alluminio anodizzato.

Quindi la tecnologia del serramento in PVC è sicuramente concorrenziale dal punto di vista dei costi con quelle del legno e del metallo.

A questo punto possiamo passare finalmente al tema del recupero edilizio.

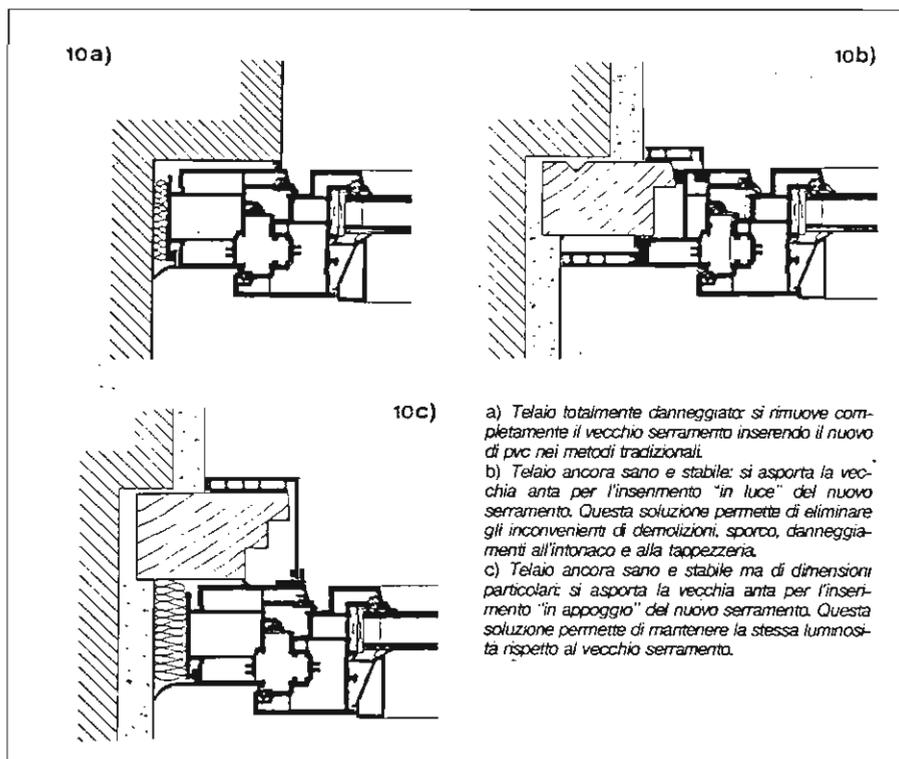
Caratteristiche dei serramenti in PVC da adottare nel recupero edilizio

Generalità

Il settore del recupero edilizio può essere articolato sinteticamente in tre filoni:

— il rinnovo o ristrutturazione totale (molto simile alla nuova costruzione con sistema tradizionale);

— il recupero in aree di interesse ambientale;



Tav. F - Tipologie di montaggio di nuovi serramenti in PVC nel recupero edilizio.

(Recuperare, n. 17, 1985).

— il restauro monumentale.

Per ognuno di questi mercati dovrebbe essere studiato un prodotto specifico, con differenti prestazioni estetiche e, quindi, con diversi costi.

Tuttavia in ogni caso il serramento in PVC dovrebbe manifestare la sua personalità, le sue caratteristiche tecnologiche, rifuggendo da camuffamenti e da mascherature.

Da questo punto di vista sono a mio avviso assolutamente da escludere finiture che imitano le venature del legno e simili.

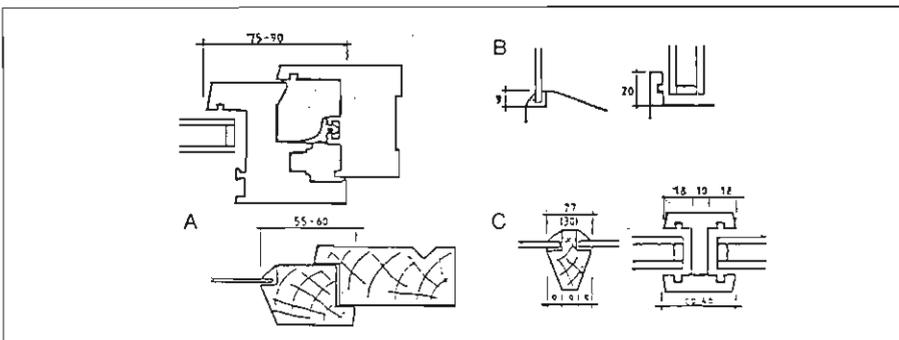
Non credo importi che il nuovo serramento messo in opera sia più o meno simile o del tutto diverso dal precedente.

Importa che ci sia, che tenga presente l'edificio in cui è impiegato, «che si proponga tenendo conto delle sottili relazioni tra le varie parti che mutano e quelle che permangono, occorre che restituisca ed anzi incentivi, accanto alla protezione, al benessere, al buon funzionamento, alla più lunga durata, l'identità dell'abitare»³.

In altre parole i serramenti in PVC devono essere disegnati» non solo dai tec-

² Nuova Finestra, rubrica sulla rilevazione mensile dei prezzi di mercato dei serramenti (presente su ogni numero).

³ V. Di Battista, Affacciarsi alla finestra, in Recuperare n. 17, maggio-giugno 1985.



Tav. G - Differenze dimensionali tra un vecchio serramento in legno ed un nuovo serramento in PVC (12).

nici del settore, ma anche dagli esperti di recupero dell'ambiente urbano e devono essere prodotti con tipologie abbastanza differenziate, tali da consentire una sufficiente scelta in relazione al contesto.

Attualmente la situazione italiana non è esattamente questa, anche se alcune realizzazioni possono essere considerate interessanti.

La strada dell'applicazione al serramento in PVC dei criteri già seguiti per il design di molte produzioni industriali (dall'automobile alle porte interne) è già stata imboccata da alcune aziende che si sono rivolte a progettisti di fama internazionale.

Questo sforzo di riprogettazione deve naturalmente investire tutti i tipi di serramenti e tutte le sue componenti:

- finestre e porte-finestre di vario tipo;
- blocchi finestre e porte-finestre;
- cassonetti;
- sistemi di oscuramento (persiane e avvolgibili);
- lamelle frangisole;
- accessori.

Requisiti funzionali

Nel recupero edilizio, i requisiti del serramento in PVC non possono essere solo estetici ma anche funzionali.

Tra questi citerò la possibilità di montare serramenti in PVC utilizzando i preesistenti telai lignei, evitando le demolizioni ed i conseguenti ripristini di tipo murario.

Tale intervento è possibile sia operando «in luce» sia «in appoggio». Nel secondo caso è possibile mantenere la stessa luminosità rispetto alla situazione preesistente⁴.

Osserviamo infatti la tav. F.

Connesso con questo requisito funzionale, è quello della possibilità di lavorare all'interno dell'edificio, evitando ponteggi esterni.

Una particolare attenzione deve essere riservata, nel caso di sostituzione di vecchi serramenti in legno con vetro semplice, con nuovi serramenti in PVC con vetro camera, nella previsione di eventuali prese di aerazione regolabili per assicurare un sufficiente ricambio d'aria indipendentemente dal più o meno prolungato periodo quotidiano di apertura della finestra.

Requisiti estetici

Ci limiteremo a citare i principali, per esigenze di sintesi:

Cromatismo

Il colore consigliato da tutti i produttori di serramenti esterni in PVC è il bianco, in quanto esso offre la migliore garanzia della tenuta del colore nel tem-

po e assicura le minori temperature superficiali in caso di prolungata esposizione all'irraggiamento solare.

Questo rappresenterebbe un grave limite nel caso di interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente in aree di interesse ambientale.

Se osserviamo le gamme cromatiche prescritte da alcuni Piani del Colore studiati per Centri storici italiani, osserviamo che per i serramenti prevalgono le tonalità scure.

Ad esempio abbiamo esaminato il Piano del Colore del Comune di Omegna (Novara), redatto dall'arch. Fabrizio Bianchetti.

Tuttavia da qualche anno il mercato del serramento in PVC offre anche profilati di tonalità scura, che assicurano buoni risultati, grazie ai continui perfezionamenti raggiunti nella stabilizzazione del PVC e nella produzione di pigmenti.

La gamma cromatica è, però, ancora troppo ristretta, comprendendo solo colori quali il grigio, il verde scuro ed il marrone, oltre ad alcuni «finto legno» che già precedentemente abbiamo sconsigliato.

Occorre, però, considerare che le gamme cromatiche si riducono molto, indipendentemente dal materiale di supporto (legno, PVC, metallo) se si considera un requisito quasi sempre ignorato, anche dai citati Piani del colore: la resistenza nel tempo dei toni di colore e della brillantezza superficiale. Valga per tutti l'esempio della sperimentata scarsa resistenza di colori quali l'azzurro, il rosso ed il giallo nelle tonalità cromatiche esteticamente più accettabili.

Considerando questo requisito, lo svantaggio che il PVC sembrerebbe presentare rispetto ad altri materiali verniciati, per quanto attiene alle gamme cromatiche, si riduce di molto.

La tecnologia del PVC ha già da qualche anno tentato di superare queste limitazioni cromatiche, con metodi che tuttavia non sono completamente affidabili, perché presuppongono sempre un sottile rivestimento esterno della materia prima, che in caso di urto od abrasione mette in luce il sottostante materiale di colore differente.

Citiamo, comunque, un procedimento introdotto nel 1981 e mutuato dall'industria automobilistica, che consente di rivestire i profilati in PVC con film termoplastici applicati a temperatura moderata.

I film, che presentano struttura piuttosto complessa, sono prevalentemente in poliestere, acrilici o in PVC.

La durata di questi rivestimenti non è solo determinata dalla qualità del film e delle vernici protettive, ma anche dal

processo di applicazione operato dal produttore.

Mentre buona parte dei produttori di film offre per ora solo le finiture «finto legno»⁵, pochi dispongono di una gamma di colori più vasta⁶, che può comprendere finiture metallizzate, bronzate, brillanti ed infine matt che sono quelle più indicate per il recupero edilizio in zone di interesse ambientale.

Un'altra tecnologia impiegabile è quella della verniciatura, che può riguardare sia i profilati sia il serramento già assemblato.

In questo settore si vantano esperienze di almeno due anni⁷, che però non ritengo possano considerarsi ancora probanti.

Sembra, tuttavia, che le migliori prospettive siano offerte dalla tecnologia della «costruzione», già normalizzata dal RAL, che consente di ottenere un rivestimento sottile acrilico e pigmentato sul corpo in PVC antiurtizzato.

Tale rivestimento dovrebbe impedire un eccessivo aumento della temperatura del profilato e conferire maggiore resistenza alla luce ed all'invecchiamento⁸, anche nelle gamme cromatiche più delicate.

Questa tecnologia è già adottata da alcune aziende⁹.

Aspetto superficiale

Con il tempo le superfici dei profili inizialmente semi-lucide, diventano opache e si manifestano minimi processi di sbiadimento¹⁰.

Inoltre in alcuni casi si sono registrati sbiancamenti di profilati in PVC di colore scuro, a causa di processi non ancora completamente chiariti¹¹.

Comunque sembra accertato che il fenomeno sia influenzato da processi di condensazione e di evaporazione di umidità nei micropori di superficie presenti nel PVC.

⁴ B. Zarzetti, Serramenti nel recupero, in *Recuperare* n. 17, maggio-giugno 1985.

⁵ È il caso dell'azienda Kurz di Fürth (W - Germany), di cui la Fersina è una dei licenziatari in Italia.

⁶ È il caso dell'azienda tedesca Oeser di Göppingen.

⁷ Tra le aziende che offrono questa tecnologia citiamo la Vemp di Milano.

⁸ A. Sternfeld, Profilati per serramenti in PVC: recenti innovazioni, in *Nuova Finestra*, n. 12, 1986.

⁹ Citiamo la Dynamit Nobel, con la serie Trocal 900.

¹⁰ E. Morianz, Le caratteristiche fisico-chimiche del PVC antiurto per serramenti, in *Nuova Finestra*, n. 1, 1986.

¹¹ E. Morianz, Comportamento all'invecchiamento dei profilati per finestre in PVC, in *Nuova Finestra*, n. 4, 1986.

Poiché in molti altri casi il fenomeno non si è manifestato, si raccomanda di adottare alcune particolari cautele:

- formulazione ottimale dei compounds di PVC;
- condizioni di lavorazione durante la produzione dei profili tali da determinare una struttura superficiale chiusa ed omogenea;
- nessun trattamento successivo della superficie con solventi o con lavorazioni meccaniche.

Costruzione del serramento

La figura G illustra le principali differenze costruttive tra un vecchio serramento in legno ed un nuovo standard in PVC¹².

Nel grafico A si può notare come la larghezza del profilo della parte mobile (battente) sia di 55-60 mm nel primo caso e di 85-90 mm nel secondo (+50%).

Solo pochi sistemi forniscono ante speciali in PVC con montanti stretti e ferramenta speciale, che riducono la larghezza del battente a circa 70 mm.

Il grafico B illustra che la scanalatura del vetro semplice è di circa 9 mm e quello del vetro-camera è di almeno 20 mm (+120%).

Il grafico C mostra che un listello rompivetro ha una larghezza di 27-30 mm per il vetro semplice e di 46 mm circa per il vetro-camera (+50%).

Il problema della dimensione e della forma dei listelli per vetri-camera può essere risolto adeguatamente ricorrendo ad alcuni accorgimenti.

Il disegno delle persiane, ed in particolare l'arrotondamento delle stecche, viene risolto con il PVC praticamente nello stesso modo adottato per il legno.

In casi di edilizia di interesse storico, invece, la progettazione del serramento in PVC non ha ancora raggiunto una sufficiente sofisticazione.

In alcune applicazioni notiamo le differenze tra un serramento in legno di

progettazione accurata ed un serramento standard in PVC applicati su prospetti di Palazzi storici.

Tra l'altro quando osserviamo la sezione romboidale della stecca della persiana in legno e gli smussi del telaio in legno, rispetto alle stecche arrotondate della persiana ed agli spigoli a 90° del telaio in PVC.

Tali particolari conferiscono ai serramenti doti di raffinatezza, di snellezza, di gioco chiaroscurale.

Tuttavia segnaliamo che dal punto di vista tecnico non esistono problemi a produrre profilati a sezione romboidale o con smussi. Ne è riprova la già nota produzione inglese. Inoltre, osserviamo che le forme ad arco sono facilmente realizzabili con il PVC, ma esistono dei limiti imposti dai tipi di apertura del serramento e dalla larghezza del telaio.

Per l'articolazione dell'architettura dei telai e per un alleggerimento dell'aspetto con il gioco di chiari-scuri, è già disponibile una serie di cornici e pezzi terminali e intermedi, che però attualmente sono poco utilizzati nel nostro paese¹².

Questo confronto ci permette di osservare che la scelta del materiale (legno, metallo, PVC) da adottare nei serramenti per il recupero edilizio non si pone tanto in funzione delle caratteristiche geometriche ed estetiche determinate dalla natura intrinseca dei materiali stessi e delle loro tecnologie, quanto in relazione ad esigenze prestazionali e di comfort (maggiori dimensioni delle parti apribili, profili a due o più camere, doppi o tripli vetri, ecc.) che hanno indotto una sostanziale variazione della qualità dei moderni serramenti. Quello che credo di poter osservare è che i produttori dei serramenti in PVC in Italia non si sono ancora sufficientemente impegnati nella ricerca di forme e cromatismi compatibili con l'incomparabile ambiente storico del paese.

Proposta di una ricerca sperimentale sui requisiti del serramento in PVC nel recupero edilizio

Sono fermamente convinto che non sia mai lecito formulare delle osservazioni critiche, come ho fatto in questa relazione, senza essere in grado di proporre soluzioni alternative.

Nel concludere il mio intervento credo utile proporre all'Associazione di categoria di promuovere una ricerca sperimentale per la definizione dei requisiti funzionali ed estetici dei serramenti esterni in PVC nel recupero edilizio.

Sommariamente la ricerca dovrebbe articolarsi nei seguenti punti:

- individuazione delle caratteristiche prestazionali dei serramenti a seconda del settore edilizio (rinnovo, recupero, restauro) e della destinazione d'uso (residenziale, agricola, industriale, terziaria, ecc.);

- analisi estetica delle caratteristiche dei serramenti tradizionali dell'edilizia di interesse ambientale, per aree culturali e geografiche omogenee ed individuazione dei requisiti estetici;

- analisi comparata della produzione attuale di serramenti in legno, metallo e PVC e della sua rispondenza ai requisiti funzionali ed estetici fissati;

- definizione delle caratteristiche da conferire alla materia prima (PVC e altri materiali eventualmente da associare), ai profilati ed ai componenti, nonché ai serramenti finiti, a seconda dei settori edilizi e delle destinazioni d'uso;

- progettazione e realizzazione di prototipi da sperimentare e rielaborazioni critiche del progetto;

- definizione degli indirizzi tecnici ed estetici per la produzione e loro divulgazione tra gli associati. ■

¹² Classico PVC, in Serramenti e PVC, anno III, n. 7.

La stabilità dimensionale nel tempo ed il suo influsso sul calcolo dei serramenti di PVC

di Filiberto Finzi

Da qualcuno sono stato definito come «nemico» o «controparte»: è giusto che Vi spieghi perchè è ragionevole considerarmi una «controparte».

Per più di 25 anni mi sono infatti interessato di industrializzazione edilizia e sono «responsabile», con vari ruoli, di qualche decina di migliaia di appartamenti sparsi per il mondo (oltre a diverse scuole, edifici industriali ecc.).

Sono stato quindi coinvolto con l'uso di circa 200.000 serramenti di vario tipo.

È sempre stato difficile il mio rapporto con il produttore del serramento (di ferro, alluminio, legno o PVC) che vedeva solo il «suo» problema e non capiva il mio che era di tipo organizzativo e strutturale o, se volete, tecnologico.

Era invece più aperto e disponibile nel rapporto con il progettista architettonico cui cercava sempre di dire di sì.

Rimanendo nel nostro campo reputo che, per il PVC almeno, sia stato e sia un grave errore dire di sì a richieste tipo: voglio un bel colore «testa di moro» o un bel «verde cupo» per delle persiane. La ragione è implicita nel grafico che riportiamo e che è ottenuto basandosi sulla documentazione tecnica di due dei prin-

cipali produttori di materie prime (Hoechst e ICI) (fig. 1).

Riprenderò più avanti il problema; comunque, al riguardo, è utile ricordare la catastrofica esperienza vissuta da chi, come me, ha usato nel nord-Italia le cosiddette «piastrelline di facciata» con colori scuri. La periferia di Milano è piena di edifici di questo tipo con distacchi, rabberciamenti ecc.

Allora siamo stati noi costruttori a sbagliare «dicendo di sì» alle richieste di «testa di moro» o «verde cupo» in facciata senza avere una completa conoscenza di quello che poteva avvenire *nel tempo* alla soluzione accettata.

Così pure è avvenuto per il fissaggio delle pietre di facciata (questa volta nei quartieri eleganti delle grandi città!): chi osserva le facciate in pietra del centro di Milano vedrà che tutte le piastre di rivestimento sono forate e nel buco c'è un chiodo di inox, ottone od altro materiale di aggrappo, supporto «eterno» che dà,

meccanicamente, una garanzia che le varie «colle» e malte non hanno purtroppo dato (sono stati diversi i casi di vere e proprie stragi prodotte dalla ricaduta di lastre di facciata a Milano) (fig. 2). Questo stato di cose (degrado rapido e distacchi vari) ha facilitato il compito delle soluzioni «a cappotto» che si sono imposte *non solo* per il risparmio energetico promesso ma anche per la possibilità di una miglior manutenzione.

Ricordo un ultimo «piccolo-grande» problema tecnologico da me toccato con mano negli anni '60 (ed ancora negli anni '70, ed ancora negli anni '80!): l'estrema difficoltà di far «vivere insieme» elementi ceramici (leggi «piastrelline da rivestimento di bagni e cucine e piastrelle da pavimento» con il cls).

Da giovane ingegnere nell'ormai lontano 1965 ho dovuto curare il rifacimento di qualche *migliaio* di rivestimenti di bagni e cucine in case popolari... ed oggi ho visto il disgregarsi di qualche *centinaio di migliaia* di metri quadri di soffitti in solai in latero cemento... per ragioni analoghe (fig. 3-4).

Tutto quanto sopra riportato è soltanto per ricordare che quando il tecnologo

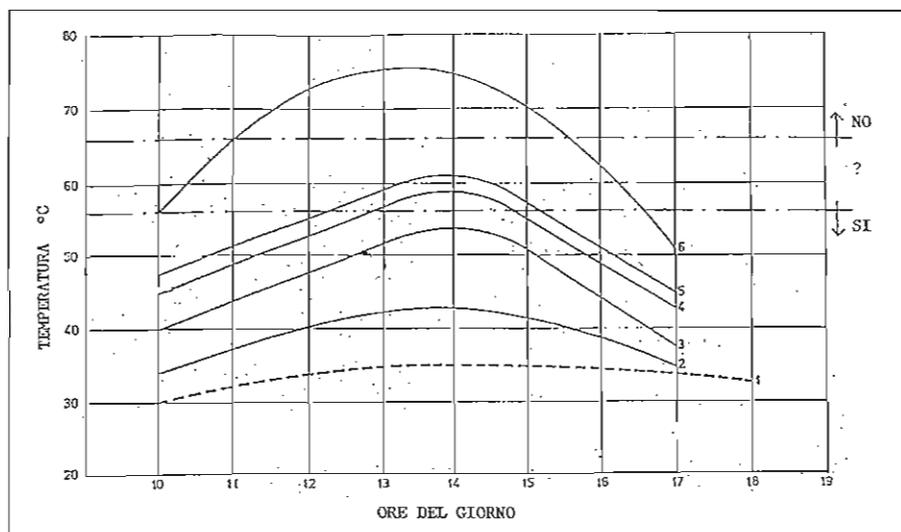


Fig. 1 - Temperature superficiali di lastre di 3 mm di spessore esposte ad inclinazione in una giornata d'estate in ambiente non ventilato.

legenda:
 curva 1 - temperatura dell'aria
 curva 2 - colore bianco
 curva 3 - imitaz. legno chiaro
 curva 4 - grigio chiaro
 curva 5 - imitazione legno scuro
 curva 6 - nero

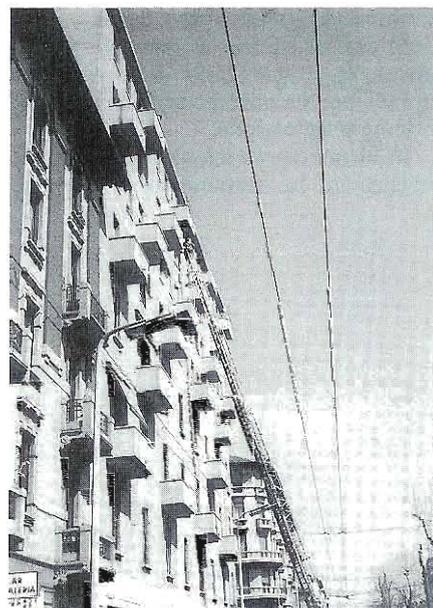


Fig. 2 - Esempio di intervento urgente a causa della ricaduta di elementi di facciata su un luogo di pubblico passaggio.

Fig. 5 - Tempo sotto sollecitazione (5 N/mm).

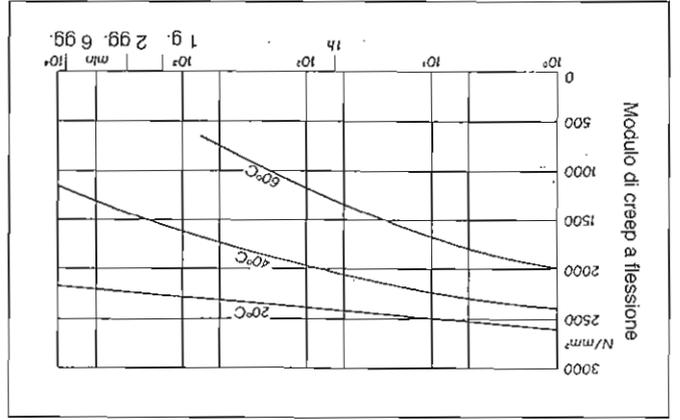


Fig. 6 - Tempo sotto sollecitazione (10 N/mm).

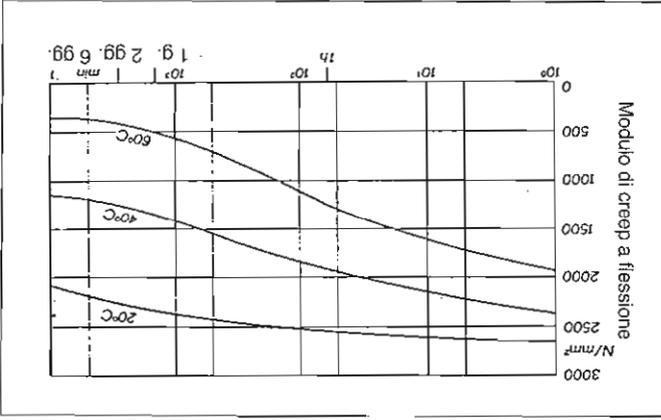


Fig. 4 - Sondellamento casa di civile abitazione.

Fig. 3 - Sondellamento corridoio di una scuola (travetti precompressi).



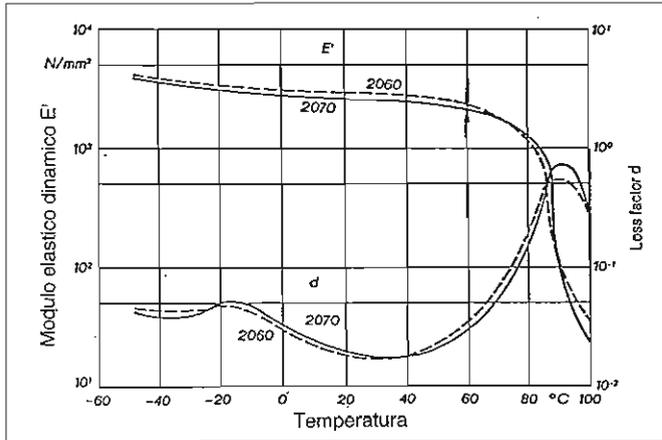
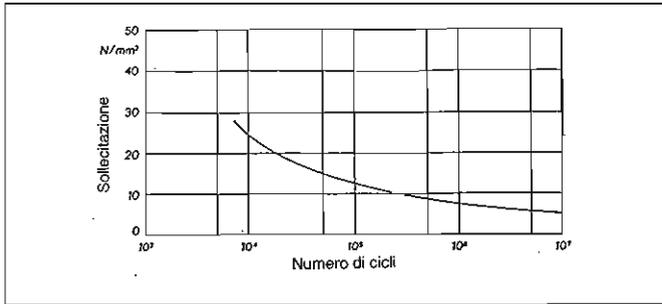


Fig. 8 - Modulo elastico dinamico. È in funzione della temperatura a frequenza 0.3 Hz.

Fig. 7 - Resistenza alla fatica a flessione (23°C, Frequenza 10 Hz).

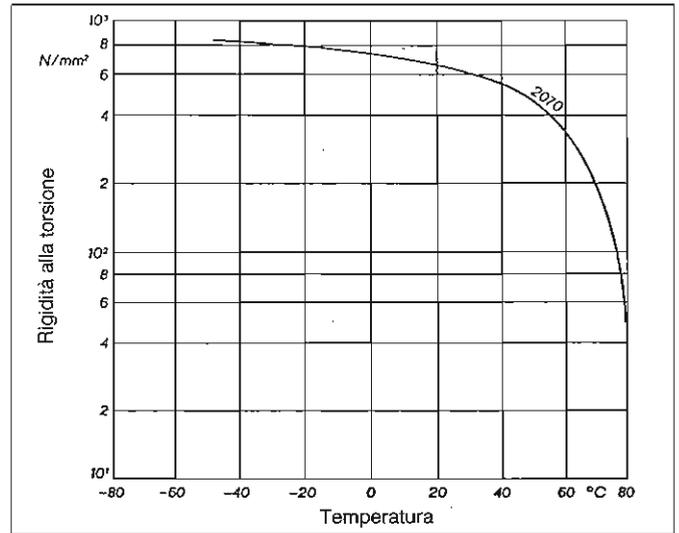


Fig. 9 - Rigidità torsionale in funzione della temperatura.

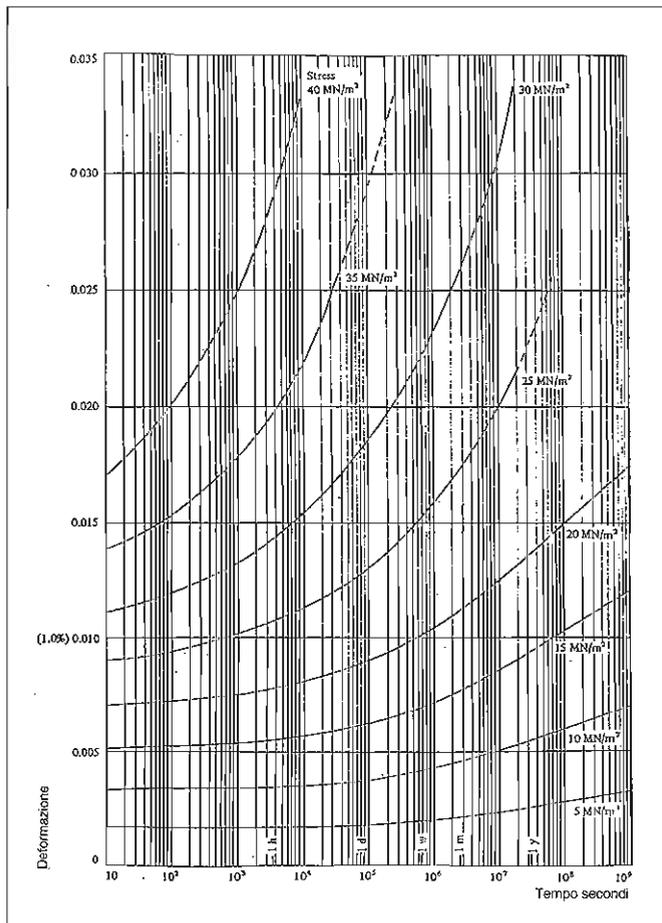


Fig. 10 - Creep a tensione a 20°C.

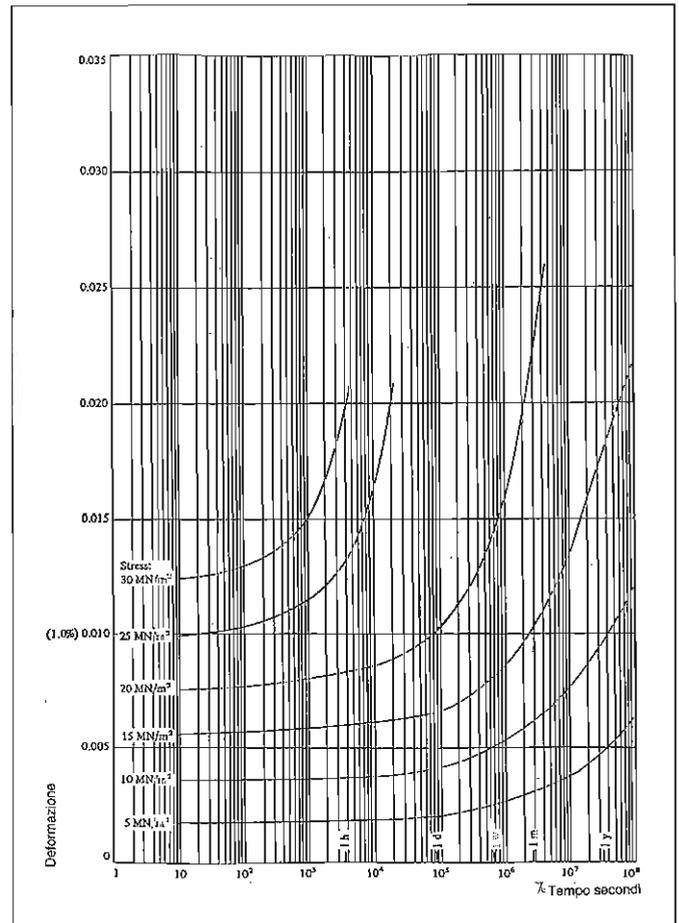


Fig. 11 - Creep a tensione a 50°C.

si intimidisce di fronte all'architetto o, in generale, di fronte al committente e promette o cose che *non può* promettere come, ad esempio, che un materiale che rifluisce a 50-60°C possa essere colorato di verde scuro e situato all'esterno nelle condizioni mediterranee (quando anche a Milano *sono state misurate* temperature superficiali dell'ordine dei 70°C!) e resti a sbalzo (come una persiana) senza de-

formarsi notevolmente, o promette cose che non può sapere (come, ad esempio, il comportamento nel tempo a 20÷30 anni in condizioni non completamente note, di materiali che esistono nella forma attuale da 10-20 anni e sono stati impiegati in condizioni ambientali *diverse*); bene, quando promette questo, di solito succedono dei guai che sono assai dolorosi da superare causando la squalifica di mate-

riali o soluzioni di per sé ottime, o almeno un notevole ritardo per quel che riguarda la loro giusta diffusione sul mercato.

Questo è, per mia esperienza, un po' la situazione dei serramenti in PVC.

L'informazione di base esiste, si vedano gli ottimi manuali delle case produttrici della materia prima (fig. 5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15) ed i manuali di *istruzione interna* dei maggiori produttori di serramenti, ma purtroppo le «vittime», vale a dire i tecnologi dei costruttori, gli architetti progettisti ed in generale gli utilizzatori ben di rado sono informati ad un livello tecnico adeguato (si preferisce sempre dire che «il PVC lava più bianco, lascia a noi i tuoi problemi che noi possiamo risolvere qualunque caso ecc.»).

Il tutto è complicato anche dalla scar-

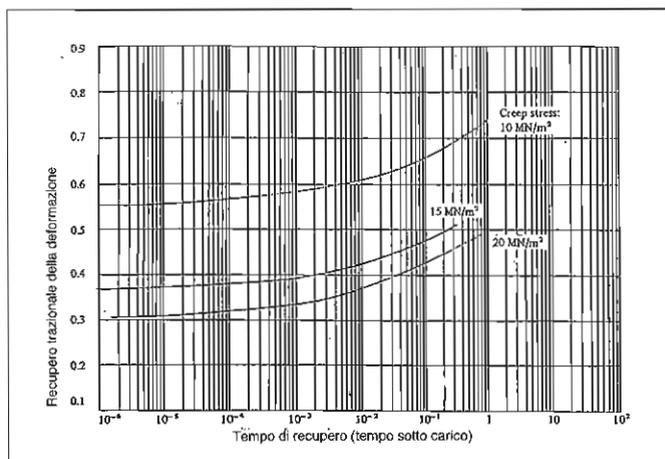


Fig. 12 - Ricupero da creep a trazione a 50°C. Provini condizionati per 85 gg. a 50°C prima della prova.

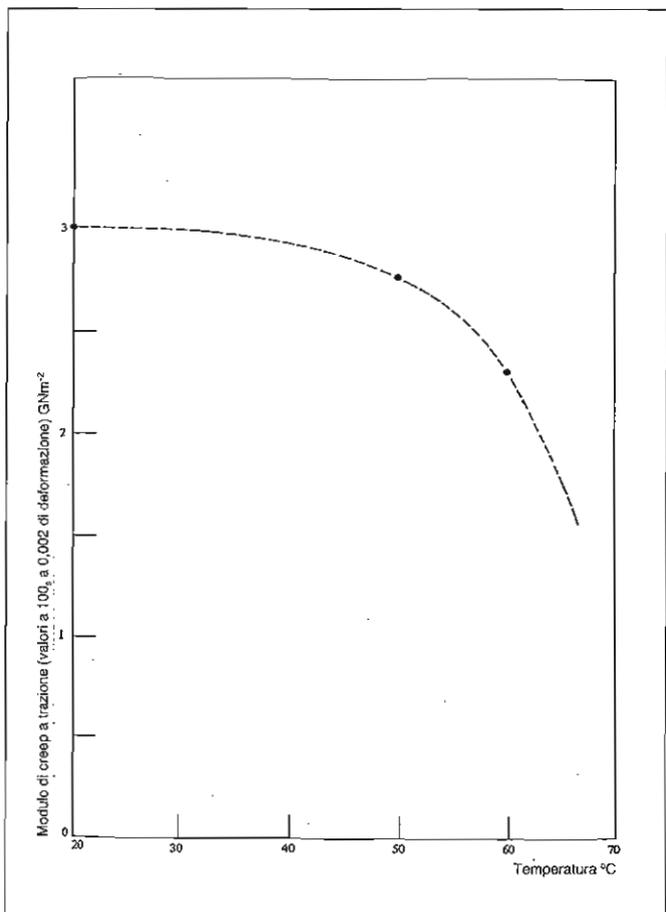


Fig. 13 - Modulo di creep a trazione in funzione della temperatura.

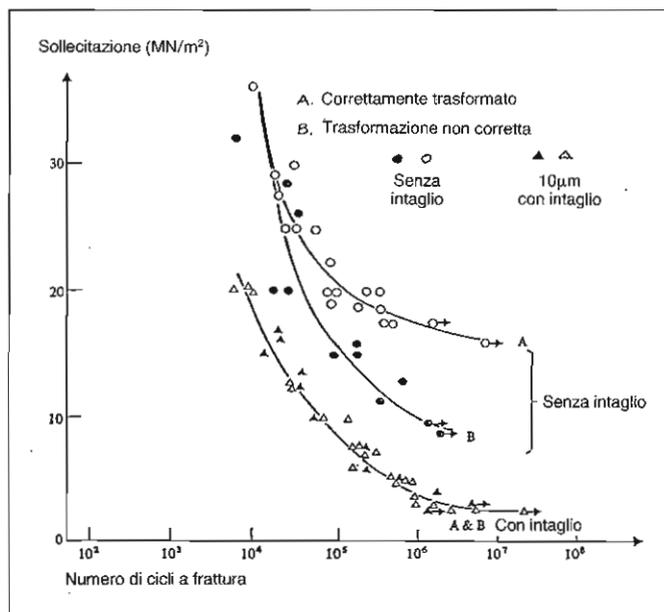


Fig. 14 - Comportamento a fatica del PVC rigido.

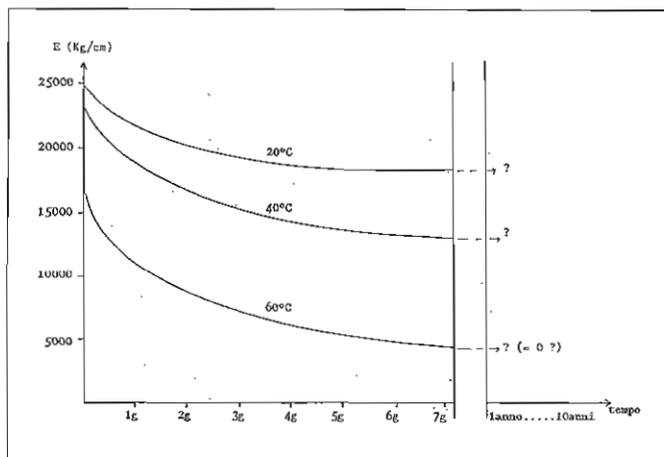


Fig. 15 - Andamento del modulo elastico del PVC soggetto a carico esterno in funzione della temperatura.

sa preparazione degli «utenti» (compratori) che non solo non sanno che cosa chiedere ma non hanno chiaro neanche come chiederlo.

Al riguardo è forse utile ricordare la ragione della grande differenza che esiste tra industria chimica, meccanica, aeronautica ecc. da una parte ed edilizia dall'altra (ed è quella che rende tanto difficile l'onesto dialogo tra il produttore di serramenti ed il costruttore):

— una macchina, un aereo, un impianto sono dimensionati per un certo numero di ore di funzionamento (od un certo numero di colpi) in determinate condizioni (magari ampie ma ben note, almeno come limiti estremi). Le durabilità corrispondenti sono al più di 10÷20 anni;

— un edificio è realizzato, per solito, in una zona i cui dati climatici sono dubbi, cambiano nel tempo (si vedano al riguardo i livelli di inquinamento — SO_x ed altri — raggiunti nelle grandi città!), e corrispondentemente vengono richieste durabilità, per le parti che possono mettere a repentaglio la pubblica incolumità (come sono certamente le persiane ed i serramenti esterni!) di almeno 100 anni (le «concessioni» fanno infatti riferimento ai classici 99 anni assunti come «infinito pratico»).

Ad esempio le persiane che l'architetto Castiglioni ci ha illustrato erano sì dei poveri pezzi di legno che però avevano probabilmente «vissuto» oltre un secolo.

Questo diverso ordine di grandezza tra durabilità «industriale» e durabilità «civile» è anche quello che ostacola il rapido diffondersi delle novità tecnologiche nel settore. Così è stato ad esempio per il precompresso che è stato concepito fin dai primi anni del secolo, ma che ha potuto in realtà essere adottato con sicurezza solo dopo 40÷50 anni, quando cioè:

— sono stati prodotti materiali le cui

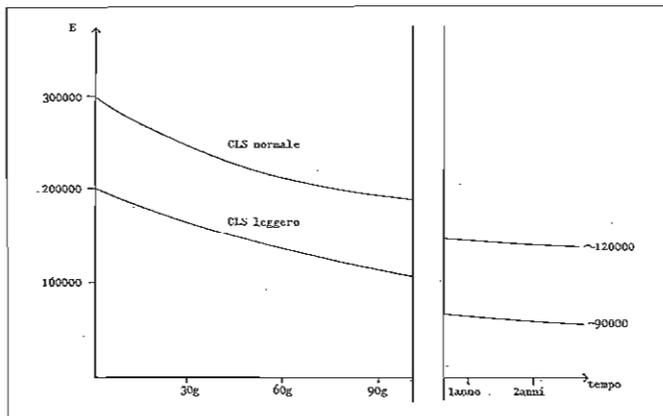


Fig. 16 - Andamento del modulo elastico del calcestruzzo soggetto a carico esterno.

caratteristiche a tempo infinito fossero adeguate;

— sono state meglio conosciute le caratteristiche a tempo infinito del cls.

Prima tutti sapevano che il precompresso si poteva fare, ma non sapevano come questa tecnologia si sarebbe evoluta nel tempo.

Un nostro professore al Politecnico di Milano, per spiegare i dubbi sul precompresso, usava sollevare una pila di libri in orizzontale tenendola premuta tra le mani e ci diceva «se io mi stanco un po' e allento le mani i libri ricadranno e questo può avvenire al precompresso se...» e lasciava cadere i libri (che di solito erano di uno studente del primo banco... che doveva anche sorridere e raccogliere i suoi libri).

Ancora oggi ad ogni nuova edizione della Gazzetta Ufficiale si hanno «novità» sul comportamento nel tempo del cls. e, di conseguenza, si adeguano i metodi di calcolo (fig. 16-17-18).

Cose analoghe succedono per i serramenti: oggi si parla di PVC trattato (per evitare il degrado da UV e l'infragilimento che tante «vittime» hanno mietuto nelle guaine di impermeabilizzazione!), e rinforzato da profili metallici (essenzialmente per evitare il rifluimento di cui ab-

biamo già parlato). Ciò nonostante occorre fare mente locale al fatto che come per il cls il cosiddetto creep del PVC ritorna solo in parte (si usa dire che le deformazioni sono «funzioni ereditarie», la cui parte matematica è stata studiata 60-70 anni fa da Vito Volterra, ma che ancor oggi non sono ben capite dai tecnici del settore delle costruzioni come provano i tanti guai che succedono!) e che quindi, col tempo, se non sono previsti sistemi per la ripresa delle deformazioni, il serramento mal dimensionato si deforma al punto di non essere più utilizzabile (la persiana non si chiude!).

Per fare un confronto con le analoghe deformazioni del cls sono (compresa la carbonatazione, o ritiro differito) dell'ordine di 1-2 mm/metro; per il PVC, a temperatura ambiente di 20-30°C (condizioni estive) possono essere 10 volte più alte. Come si noterà dai diagrammi, alzandosi la temperatura, la deformazione tende ad infinito, mentre la resistenza tende a zero.

Ora esiste anche un'altra difficoltà:

— i diagrammi empirici oggi esistenti fanno riferirmento ai dati climatici dell'Europa Centrale. Prima di applicarli bisogna riportarsi non solo alle condizioni italiane, ma alle condizioni della zona

Fig. 17 - Prove di rifluimento per calcestruzzi di diversa composizione e pari resistenza.

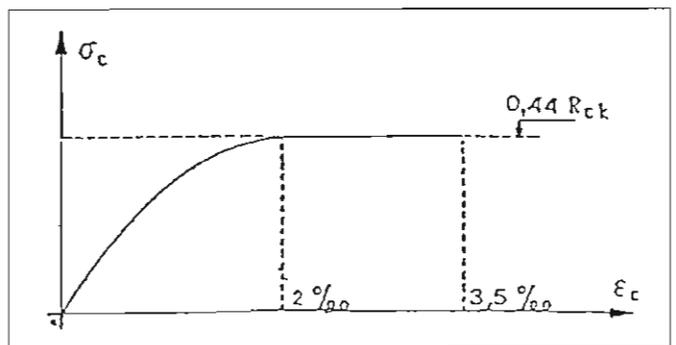
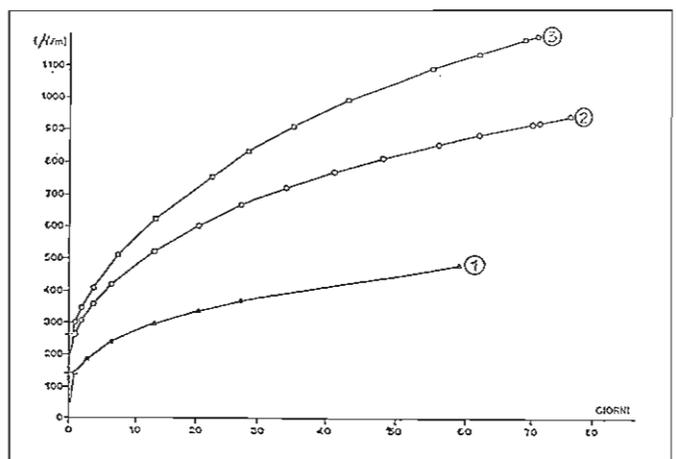


Fig. 18 - Diagramma convenzionale del cls (diagramma parabola rettangolo).

d'Italia ove si opera perché le variazioni Nord-Sud sono *fortissime* (si passa dal 46-47° Nord di Milano al 36-38° Nord della Sicilia).

Penso che per il Sud Italia, in mancanza di dati locali, sia saggio riferirsi ai dati francesi per l'Algeria.

È chiaro che a questo punto sono importanti anche le condizioni di ventilazione, la distribuzione degli spessori ed in generale il *progetto* termico del serramento.

E ben vero che per molte soluzioni è *il vetro* che irrigidisce e dà resistenza al serramento, ma molti oggetti (come le già fin troppo citate persiane!) non possono essere facilmente irrigidite.

E quindi cosa occorre fare?

— innanzitutto dire e propagandare la verità e cioè dare a tutti le caratteristiche

di quest'ottimo materiale, spiegando che regge a carichi anche assai notevoli con deformazioni tutto sommato limitate a tempo zero, ma che occorre prevedere diversi presidi (vetri, telai in ferro, regolazioni ecc.) per evitare «brutte» sorprese a tempo infinito.

Affidare *tutto* l'impegno strutturale a questi presidi (è impensabile sperare nella collaborazione tra un materiale a modulo elastico 2.100.000 come il ferro ed il 20.000 a tempo zero come il PVC - 100 a 1!) sia per la resistenza che per le deformazioni;

— evitare l'impiego di colori che portino come conseguenza automatica (sempre per serramenti o dettagli esposti all'esterno!) il superamento della temperatura superficiale di 50-60°C (che è tra l'altro il limite garantito dai produttori di

materia prima!) e poi... aspettare che il tempo premi il vostro pessimismo; confermandolo come tale.

È infatti sempre buona cosa che vi si dica «le cose sono andate *meglio* di come tu hai previsto...» in luogo del viceversa.

Il tempo, data anche la nostra scarsa conoscenza dei fenomeni, dell'ambiente e dell'evoluzione dell'ambiente è un parametro che ad oggi *non sappiamo* simulare.

Occorre quindi approfondire lo studio dei fenomeni in gioco e dell'ambiente, ma nella progettazione esecutiva, l'unica via d'uscita è cercare di essere prudenti e coprire la nostra ignoranza con adeguati schemi strutturali.

E quindi: PVC con colori chiari considerato come materiale (per sollecitazioni a tempo infinito!!!) *non* strutturale. ■

Discussione al termine del convegno

Dr. Corrado Venosta

Diciamo che l'intervento dell'Ing. Finzi è stato provocatorio come ci aspettavamo e forse anche un filino di più. Però mi pare che abbia evidenziato, il che è molto positivo, i problemi che devono essere affrontati per una corretta progettazione di un serramento, problemi che d'altronde ritengo i soci conoscano molto bene, ma che non è inutile che siano richiamati all'attenzione.

Vorrei dire che il PVC non è poi così poco conosciuto come mi pare sia l'opinione dell'Ing. Finzi, perché le curve di creep vengono fatte da moltissimi anni e nel caso dei tubi le curve vengono estrapolate a 50 anni di regressione, sufficienti per individuare il comportamento di quei manufatti nella loro vita di esercizio. Dati di questo genere sono oggi alla base di norme internazionali.

Dr. Lo Scalzo

Vorrei invitare l'amico Finzi a una conclusione un po' più positiva. La tecnologia è effettivamente quella che lui ha descritto: i profili vengono aiutati dall'impiego di profili in materiali metallici, spesso surdimensionati, che sono destinati a sopportare non soltanto i carichi propri, ma anche quelli stantanei. Questa tecnologia è correntemente adottata ed è addirittura normalizzata in determinati Paesi dove questi manufatti si sono decisamente imposti da molti anni. Se poi si considera che la finestra è una struttura completamente chiusa, spesso a sandwich come avviene nel vetrocamera, penso che l'Ing. Finzi non debba avere remore nel riconoscere che i serramenti di PVC così costruiti siano probabilmente anche più stabili di quelli realizzati in altri materiali.

Ing. Finzi

Una cosa che è stata studiata riesce senz'altro migliore di qualcosa che non è stata sottoposta a studio preventivo. I bambini malaticci, che divengono oggetto di cure particolari, crescono individui molto sani. Mi sembra che questo sia in sostanza il discorso del mio amico Lo Scalzo. Ma vorrei sottolineare che come anche per altri materiali, le esperienze tedesche, francesi o inglesi nelle finestre di PVC non possono essere trasferite sic et simpliciter alla Sicilia, perché le condizioni al contorno sono molto diverse. È

ben vero che il serramento in PVC è un oggetto particolarmente studiato e come tale molto più affidabile di altri tipi di serramento che non hanno presupposto quegli studi nella loro realizzazione o che addirittura sono quasi imprevedibili nelle loro caratteristiche; è questo il caso del serramento in legno, materia creata dal Padre Eterno, trattata dagli uomini e quindi mai identica a se stessa. Ma è anche vero che del PVC si conoscono certe caratteristiche come il comportamento al creep, ma questo non va confuso con le curve di deformazione residua non note per il PVC. È comune confondere curve di creep con la deformazione sotto carico. Si tratta di cose diverse, perché la fenomenologia che sta sotto non è completamente descrivibile con il modulo elastico o quella descrivibile dalle curvettine presentate dalla Hoechst o di altri produttori; va considerato, infatti, anche il comportamento nel tempo di sollecitazioni di carico e scarico sulle deformazioni. Per i materiali tradizionali come i calcestruzzi e gli acciai e questi comportamenti sono riportati addirittura nella Gazzetta Ufficiale dello Stato Italiano o di altri Stati. Nulla di analogo è ancora disponibile per il PVC, almeno per l'utilizzatore di questo materiale.

Il Dr. Lo Scalzo dice che a questo riguardo ci pensa il costruttore; può essere anche vero, però sarebbe tanto più utile se questi dati fondamentali, se questa cultura, fosse diffusa come in altri campi è diffusa la cultura dell'acciaio o del calcestruzzo. Non è una accusa a voi; tutt'altro; voi vi muovete nella direzione di contribuire a questa cultura, di produrre schede tecniche, di dare queste informazioni, però avete incominciato l'altro ieri. Però essendo io una vostra controparte devo dire che mi fa un po' paura la vostra pacifica accettazione di serramenti, ad esempio, color verde bottiglia. C'è qualcosa che non torna in questo: o i dati che voi come categoria diffondete sono errati, o meglio superati da materiali meravigliosi, oppure quel limite di 65°C non è più vero; o magari quel verde bottiglia non era verde bottiglia!

Dr. Lo Scalzo

Confermo la veridicità dei dati che sono stati pubblicati. Vorrei dire che i progressi per un innalzamento delle caratteristiche meccaniche del PVC in funzione della temperatura sono lentissimi e non

ci sono da attendere particolari guadagni nei prossimi anni.

Deve essere detto che condizioni di irraggiamento e ambientali (ad es. ventilazione) sono le più varie e il progetto le prende in considerazione. La giusta progettazione di un manufatto deve offrire sicurezza all'utilizzatore, come abbiamo sicurezza a passare sotto un ponte perché ci fidiamo del progettista che l'ha realizzato, indipendentemente dalle caratteristiche di resistenza ad esempio a trazione del calcestruzzo.

Ing. Finzi

Direi che l'osservazione del ponte è senz'altro vera, nel senso che si dovrebbe effettivamente avere paura. Sarebbe una bella cosa rendere pubblici i criteri di progettazione di un serramento, perché spesso quando si esce dalla calcolazione normale strutturale e si entra nel campo, chiamiamolo con il suo nome, della fisica tecnica dei materiali, non esiste progettazione. Perciò sarebbe bello se ogni manufatto portasse la firma con l'indirizzo di casa del responsabile per andarlo a cercare se qualcosa non ha funzionato. L'innovazione compiuta nel secolo scorso dalla normativa strutturale è proprio consistita nell'imposizione di un capro espriatorio, nel dare, cioè, nome, cognome, indirizzo di chi dovrà andare in galera se il ponte cade sulla testa del Dr. Lo Scalzo. Sarebbe una buona cosa se la stessa procedura valesse per le persiane verdi, con il dovuto effetto di scala, evidentemente.

Ing. Sem Bonetti

(Presidente Fersine e Profilia)

Non mi rendo bene conto del perché, dopo che in Europa sono stati installati oltre 100.000.000 di serramenti di PVC, si insista tanto sulla persiana che rappresenta una più che minima parte, presente praticamente solo in Italia, di fronte a 10 milioni di finestre all'anno che si fabbricano in Europa; per le quali il Prof. Seifer, il famoso papa delle finestre, direttore del più grande Istituto del mondo in questo settore, ha riconosciuto che certi problemi e certi timori, che ritornano anche nelle perplessità del Prof. Finzi, se sono da prendere in considerazione non debbono però preoccupare affatto, o almeno non nei limiti che sembrano preoccupare il Prof. Finzi.

Ing. Finzi

Con una battuta di spirito si potrebbe rispondere: «Ci sono i papi e ci sono i protestanti». Ma secondo me è molto importante creare una discussione. È evidente che se non si porta un problema al paradosso, all'estremo, non si forma una discussione chiara. Ciò che secondo me manca, non solo nel campo dei serramenti, ma nel nostro mondo tecnico, è proprio una discussione chiara. La positività di certe pubblicazioni, soprattutto tedesche, è di dare dei dati non equivoci, avendo, diciamo pure, il coraggio di sbagliare. È facile spiegare o calcolare quali sono i carichi su una persiana. Mi rendo conto che l'esempio è elementare e che esso non si attaglia al caso del serramento intero; tuttavia è comodo per aprire una polemica.

Domanda (?)

Mi sembra che esista un problema nell'ambientazione di questi infissi di colori scuri. Noi sappiamo quanti problemi siano creati dai pigmenti sia per la loro stabilità alla luce sia anche per la loro compatibilità con la materia plastica, il PVC. Allora mi pare che la tecnica di coestrusione o quella dell'applicazione di rivestimenti protettivi in film dovrebbe essere la tecnica più idonea per risolvere quei problemi. E non solo quelli ma anche certi aspetti economici, perché il pigmento costa caro e colorare in massa non è proprio il sistema più economico che esista. Si potrebbero forse trovare sistemi di circolazione forzata d'aria per contenere l'elevata temperatura causata dalle tinte scure, che anche nell'Italia settentrionale possono arrivare a 75°C.

Dr. Venosta

Lei vuole accontentare gli architetti! Anche Ford aveva detto riferendosi alle sue automobili: «qualunque colore, purché sia nero».

Comunque io penso che l'obiettivo di questo Convegno sia quello di aprire un dialogo fra progettisti, costruttori, utilizzatori di serramenti. Mi sembra che questo primo scopo sia stato raggiunto, perché di argomenti ne sono stati introdotti parecchi e in termini anche molto vivaci. Come avevo detto all'inizio questo vuol chiamarsi un primo incontro, un'apertura di dialogo che spero continui nel tempo e dia i frutti che noi desideriamo.

Ringrazio tutti gli intervenuti e mi auguro di vederli nei prossimi anni a questo appuntamento che vorremmo istituzionalizzare come annuale. ■

Considerazioni generali sull'influenza degli agenti esterni sulle proprietà dei materiali

Per invecchiamento di un materiale si intende in generale un lento deterioramento nel tempo di alcune delle sue proprietà caratteristiche. Le proprietà dei materiali e la loro struttura chimica sono strettamente collegate. Quando queste proprietà cambiano allora dobbiamo pensare che anche la struttura chimica è cambiata perché è intervenuto un processo di tipo chimico. Data l'importanza del problema, il processo chimico che sta alla base dell'invecchiamento dei materiali è stato molto studiato e si è visto come in esso ossigeno, acqua e luce solare assumano ruoli fondamentali, in particolare per quei materiali esposti all'ambiente esterno. Cercheremo ora di descrivere schematicamente i principali processi chimici coinvolti nell'invecchiamento di materiali metallici, di materiali polimerici e del legno.

Materiali metallici

Per descrivere la degradazione chimica e fisica di un materiale metallico esposto ad un ambiente aggressivo e quindi la vasta varietà dei processi coinvolti viene usato il termine *corrosione*. Per maggior semplicità noi descriveremo le reazioni che avvengono tra metallo e ossigeno come *corrosione secca* ed i processi che avvengono quando il materiale metallico è bagnato come *corrosione umida*.

Un dato non molto aggiornato ma significativo è quello che risulta da uno studio del National Bureau Standard. È stato calcolato che il costo totale della corrosione negli U.S.A. nel 1975 era di 70 miliardi di dollari, pari al 4,2% del prodotto nazionale lordo.

Corrosione secca - Se una superficie metallica perfettamente pulita è esposta all'aria, essa assorbirà istantaneamente la massima quantità di gas. L'ossigeno assorbito si combinerà poi con il metallo mettendo in partecipazione gli elettroni di valenza e formando, in un tempo più o meno lungo che dipenderà dall'affinità di quel metallo verso l'ossigeno, uno strato superficiale di ossido del metallo. Esistono casi

di
Guido Audisio
*(Istituto di Chimica delle Macromolecole,
 CNR - Milano)*

limite come quello dell'oro che in pratica non reagisce con l'ossigeno o come quello del molibdeno che forma un ossido volatile che lascia sempre libera la superficie metallica.

Se il volume molare dell'ossido che si forma è minore di quello del metallo di partenza lo strato di ossido sarà non aderente e poroso; lascerà quindi spazi di superficie metallica ancora in contatto con l'aria e l'ossidazione continuerà ad una velocità più lenta che dipenderà dalla velocità del flusso di ossigeno attraverso lo strato poroso dell'ossido.

Se il volume molare dell'ossido è maggiore di quello del metallo lo strato di ossido sarà continuo, compatto e quindi proteggerà la superficie da ulteriori ossidazioni. Dopo che si è formato uno strato di questo tipo l'ossidazione sarà proporzionale alla conduttività dell'ossido: più essa è bassa e minore sarà la possibilità di migrazione di ioni del metallo verso la superficie esterna a contatto con l'ossigeno. Questo è il caso di metalli come alluminio e berillio che formano ossidi con volume molare elevato e con bassissima conduttività. Lo strato di ossi-

do rimane protettivo fino a che non intervengono azioni meccaniche che lo possano sgretolare.

L'ossidazione di leghe metalliche è più complessa di quella dei metalli puri. Si possono verificare i due casi appena descritti ma anche che un elemento della lega si ossidi molto più rapidamente di altri. Questa ossidazione selettiva comporta effetti diversi a seconda della composizione del materiale.

Ad esempio l'ossidazione selettiva del carbonio nell'acciaio porta alla formazione di ossido di carbonio volatile con conseguente decarburazione del materiale. Se invece l'acciaio è ricco di cromo l'ossidazione selettiva porta alla formazione di uno strato di ossido di cromo altamente resistente e protettivo da ulteriori ossidazioni.

Corrosione umida - Quando un metallo viene in contatto con un fluido che conduce, quale è ad esempio l'acqua, c'è la tendenza del metallo a passare nel fluido sotto forma di ioni



Quando gli ioni lasciano la superficie del metallo un certo numero di elettroni in eccesso si accumula sulla superficie stessa. Il campo elettrostatico creato dalla interazione degli elettroni con gli ioni tende a tenere gli ioni in soluzione in uno spazio vicino alla superficie. Più alta è la tendenza del

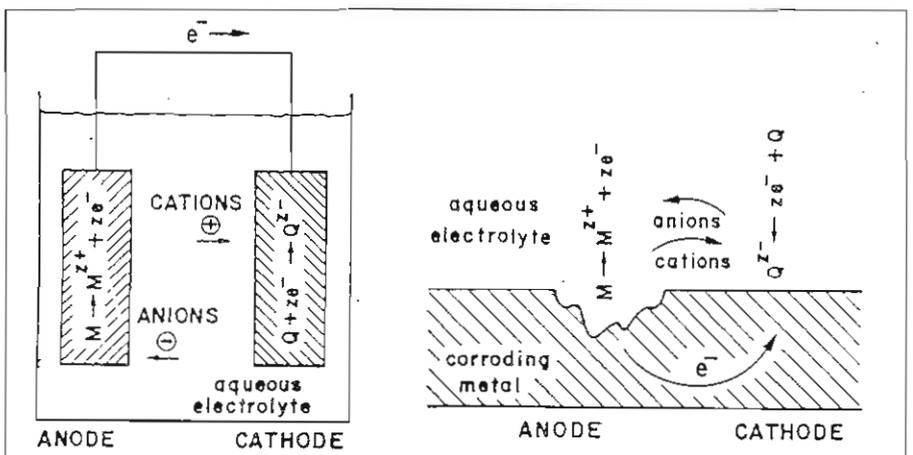
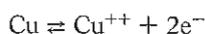
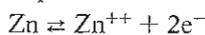


Fig. 1 - Paragone semplificato di una zona di corrosione (a destra) e di una semplice cella elettrochimica.

metallo a «sciogliersi», più alto è l'accumulo di cariche alla superficie e più alto è il potenziale del campo elettrostatico che si crea. Ogni metallo in queste condizioni ha un valore di potenziale specifico. Siamo cioè in presenza di un elettrodo e possiamo spiegare la corrosione umida rifacendosi ai principi elettrochimici di base.

Se prendiamo infatti in considerazione una semplice cella elettrochimica (Fig. 2) in cui una barra di Zinco e una di Rame sono immerse in un elettrolita acquoso noi vediamo che tra le due reazioni possibili:



la ionizzazione dello zinco avviene molto più facilmente di quella del rame. Questo comporta che la concentrazione di elettroni sulla superficie dello zinco è maggiore di quella sulla superficie del rame e quindi è maggiore anche il potenziale relativo allo zinco. Se i due elettrodi sono connessi esternamente da un conduttore ci sarà un flusso di elettroni dall'elettrodo di zinco (che ne ha di più) a quello di rame (che ne ha di meno). Si rompe quindi un equilibrio. Per tentare di restaurarlo allora lo zinco passerà in soluzione come Zn^{++} e il rame ione (Cu^{++}) si combinerà con gli elettroni a dare rame metallico.

È facile ora immaginare questa situazione realizzata su di una barra di materiale metallico composto da una lega, ad es. rame-zinco. In ambiente umido si corroderanno le parti del materiale ricche di zinco.

Tuttavia anche su di una barra di materiale metallico monocomponente si possono realizzare punti a potenzia-

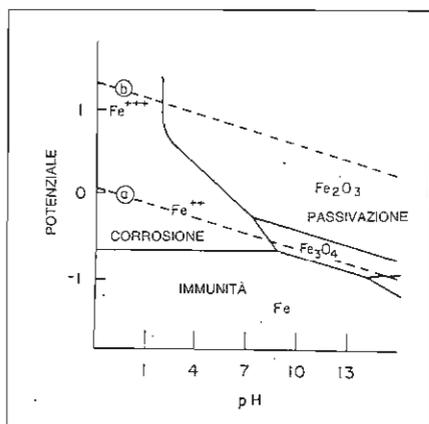


Fig. 2 - Diagramma semplificato di equilibrio del Ferro in acqua. Le linee tratteggiate a e b denotano i limiti di stabilità dell'acqua.

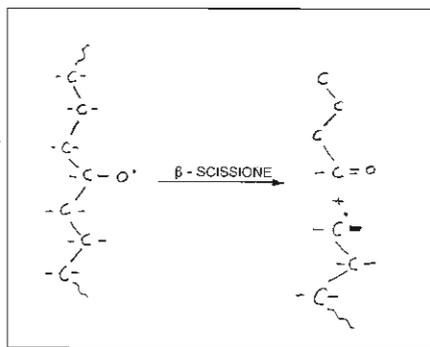
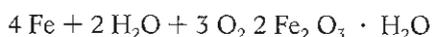


Fig. 3

le diverso quando la barra si trova in ambiente umido. La ragione di ciò può essere attribuita a differenze della composizione locale, all'eterogeneità della superficie, a differenze del contorno ambientale da punto a punto che possono produrre differenze di concentrazione nel fluido conduttore che bagna la barra. Un'altra causa di corrosione, generalmente rilevante, è la presenza di tensioni. Si è notato che i punti soggetti ad alte concentrazioni di tensioni interne o applicate esternamente sono punti in cui la velocità della corrosione è più alta.

Gli ioni così formati possono reagire poi con l'ossigeno dell'aria per formare gli ossidi corrispondenti (Fig. 1B).

Una delle corrosioni più studiate, data la sua importanza tecnologica, è stata quella del ferro. La reazione globale di formazione dell'ossido di ferro in presenza di acqua e aria può essere scritta



Questa reazione, che è il risultato di più processi competitivi (alcuni ne ipotizzano 29), può graficamente essere rappresentata nel diagramma in figura 2.

La protezione - La protezione temporanea dei materiali metallici dalla corrosione è stata attuata in modi diversi.

Un primo modo è quello di stendere sul materiale dei pigmenti inorganici contenenti un metallo che abbia una maggior tendenza a formare ioni del materiale da proteggere, ad es. si ricopre il ferro con zinco e finché rimane dello zinco sarà questo a reagire invece del ferro.

Un secondo modo è quello di ricoprire il materiale con pigmenti organici. Per mantenere un'effettiva protezione alla corrosione lo strato di verniciatura deve normalmente rimanere

aderente al materiale metallico cui è stato applicato. In pratica non è necessario che la forza di adesione tra vernice e substrato sia particolarmente elevata. Ciò che è importante è che l'adesione mantenga il valore iniziale il più a lungo possibile anche in presenza delle forze contrastanti esercitate dall'esposizione all'ambiente.

Uno dei fattori che influenzano più negativamente la forza di adesione della verniciatura è l'umidità dell'ambiente. È stato trovato che una tipica vernice organica ha una forza di adesione iniziale, a secco, che varia tra i 20 e i 40 MPa. Dopo una più o meno prolungata esposizione in un ambiente umido la forza decade a 5-15 MPa, mentre basta un'umidità del 65% perché nello stesso periodo di tempo la forza rimanga praticamente inalterata.

È stato anche studiato l'assorbimento di acqua da parte di un film di vernice steso su di un supporto rispetto ad uno non supportato. Il film che per esposizione all'ambiente umido perde la sua forza di adesione al supporto tende ad assorbire più acqua di quanto non faccia lo stesso film lasciato «libero» nello stesso ambiente. L'accumulo di acqua nelle regioni all'interfaccia si ritiene sia dovuto ad un probabile riequilibrio di tensioni superficiali.

I film di vernice organica diventano dunque permeabili all'acqua in un tempo che dipende dalla struttura chimica del pigmento, dal suo spessore, dalle condizioni ambientali di esposizione e da altri fattori. È stato anche calcolato il trasporto di acqua attraverso un film di vernice invecchiata dello spessore di 0.1 mm e si è trovato che esso può variare da 0.5 a 5×10^{-3} g/cm² al giorno. Il consumo di acqua su di un acciaio non verniciato è stato valutato da 0,4 a 6×10^{-5} g/cm² al giorno. L'acqua dunque è sempre in eccesso rispetto al consumo che si verifica nelle reazioni di corrosione.

Analogo discorso può essere fatto per la permeabilità all'ossigeno. Si è calcolato che per una vernice non più «giovane» la permeabilità all'ossigeno va da 1 a 15×10^{-3} g/cm² al giorno. Questo valore è molto simile a quello calcolato per il consumo di ossigeno nei processi di corrosione. Si può quindi ritenere che lo stadio determinante del processo di corrosione di un materiale metallico verniciato sia il flusso di ossigeno attraverso lo strato del pigmento organico.

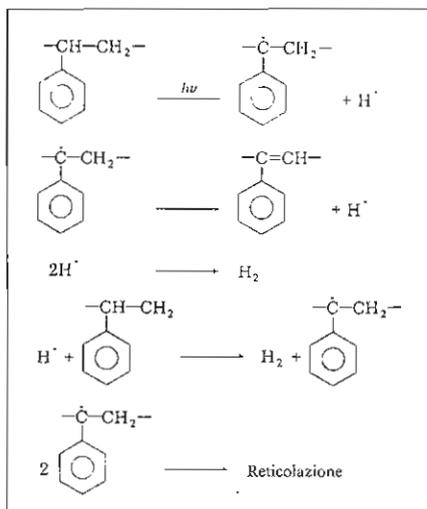


Fig. 4

È da notare inoltre che le vernici che si usano attualmente hanno come componente principale del materiale polimerico. Oltre al decadimento dovuto alla permeabilità all'aria e all'acqua esse sono dunque soggette all'invecchiamento generale subito dai materiali polimerici.

Materiali polimerici

L'invecchiamento dei materiali polimerici per effetto degli agenti atmosferici è stato studiato a fondo con due obiettivi generali: per comprendere il tipo di reazioni chimiche che esso coinvolge e studiare quindi dei mezzi efficaci per contrastare, e, in secondo luogo, per riuscire a predire con una precisione ragionevole la durata utile di un manufatto.

I fattori implicati sono molti, alcuni dovuti al clima: le caratteristiche della luce solare, il grado di umidità, la frequenza delle piogge, la presenza o meno di inquinanti atmosferici.

Altri sono dovuti alla natura chimica del polimero che rende il materiale più o meno soggetto all'attacco foto-termoossidativo o idrolitico.

Altri ancora dipendono dalla costituzione fisica del manufatto: la morfologia del polimero, il grado di cristallinità, la presenza di tensioni interne o di sollecitazioni esterne, ecc.

Ma il fattore più responsabile dell'invecchiamento di materiale organico polimerico è la luce solare. Essa ha radiazioni che hanno lunghezze d'onda comprese tra 100 e 400 nm a cui compete un certo valore di energia contenuta e che può essere trasferita

all'oggetto irraggiato. Per fortuna l'atmosfera della Terra agisce da filtro lasciando che arrivi alla superficie terrestre solo il 5-6% delle radiazioni originarie, bloccando le radiazioni al di sotto dei 290 nm. Nella pratica, quindi, le radiazioni che aggrediscono il materiale posseggono lunghezze d'onda comprese tra 290 e 400 nm a cui corrisponde un contenuto di energia di circa 70-95 kcal. Questa è un'energia che è dello stesso ordine di grandezza di molti dei legami chimici presenti nel materiale polimerico ed è quindi in grado di provocarne la scissione omolitica con formazione di radicali instabili.

Perché avvenga questa reazione fotochimica è necessario però che prima si verifichi un processo fotofisico che consenta l'assorbimento dell'energia contenuta nella radiazione da parte della molecola organica. In generale i polimeri sono costituiti essenzialmente da legami C-C, o C-H o C-Cl, che sono tutte situazioni elettroniche trasparenti alle lunghezze d'onda della luce solare. La catena polimerica tuttavia contiene sempre alcune impurezze e tra le altre ci possono essere:

a) residui di composti metallici derivati dal catalizzatore della polimerizzazione (meno di 50 ppm);

b) prodotti di ossidazione introdotti nella catena polimerica durante la polimerizzazione o la successiva lavorazione (idroperossidi, perossidi, carbonili, ecc.);

c) composti aromatici polinucleari assorbiti sulla superficie del materiale direttamente dall'ambiente;

d) un complesso superficiale per trasferimento di carica tra polimero e ossigeno (ipotizzato da alcuni ricercatori).

Queste impurezze hanno tutte una struttura elettronica in grado di assorbire l'energia contenuta nelle radiazioni solari. Questa energia assorbita fa sì che un legame della catena polimerica venga portato dallo stato energetico fondamentale ad uno stato eccitato. Questa energia in eccesso deve essere eliminata e il ritorno allo stato fondamentale comporta la scissione di un legame covalente, cioè una reazione fotochimica. Si formano così due radicali che in presenza dell'ossigeno dell'atmosfera iniziano una reazione a ca-

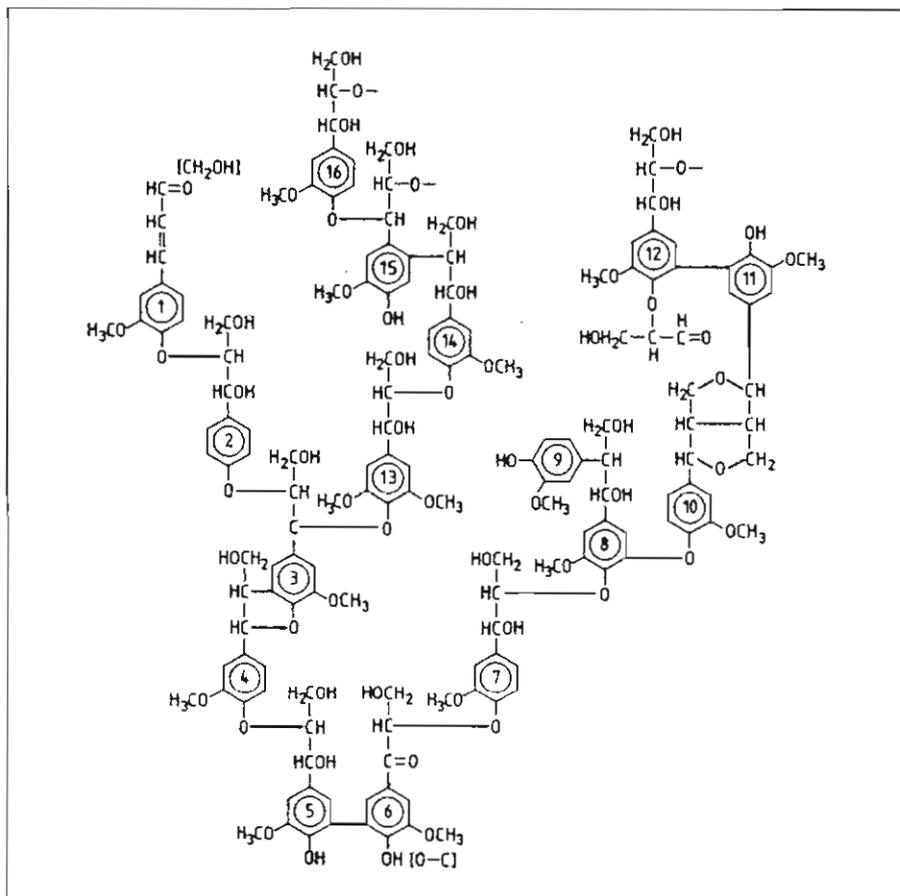
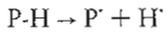


Fig. 5 - Probabile schema strutturale della lignina (Adler 1977).

tena che può essere schematizzata qui di seguito.

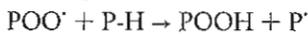
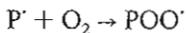
Reazione di iniziazione

Questa reazione comporta generalmente la scissione omolitica di un legame C-H della catena polimerica con formazione di un radicale idrogeno e di un radicale «polimerile»



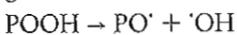
Reazioni di propagazione

Questo stadio prevede la reazione del radicale «polimerile» con l'ossigeno a dare altri radicali che proseguono il processo



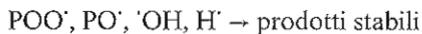
Reazioni di ramificazione

Questo stadio aumenta la cinetica globale del processo perché aumenta il numero di radicali che entrano in gioco



Reazioni di terminazioni

Sono reazioni che eliminano i radicali attivi dal processo



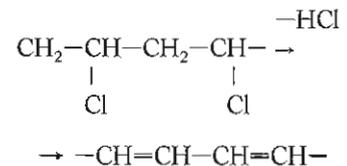
I radicali organici di questo tipo tuttavia possono seguire anche altre vie di reazione. Una a cui sono più soggetti è la reazione di β -scissione. Nel processo di invecchiamento dei materiali polimerici questo tipo di reazione può avvenire sul radicale PO' . Questa reazione comporta la scissione del legame in posizione all'atomo che porta la funzione radicalica. Per il radicale PO' il legame in posizione β è un legame C-C della catena polimerica. Nella rottura di un legame di questo tipo una catena polimerica viene divisa in due spezzoni, il che comporta un drastico abbassamento del peso molecolare della macromolecola che la subisce. Questa reazione è quindi responsabile del decadimento di quelle caratteristiche fisiche del polimero legate al suo peso molecolare (Fig. 3).

In generale dunque le reazioni prima descritte sono quelle che un materiale polimerico subisce quando esso è esposto alla luce solare in presenza dell'aria ma l'incidenza di ciascuna

può variare a seconda della struttura chimica del polimero che compone il materiale.

In particolare possiamo considerare il caso del polistirolo. La colorazione che si verifica per esposizione alla luce solare è attribuibile alla formazione di doppi legami lungo la catena per deidrogenazione e il suo infragilimento invece è dovuto al fatto che per questa macromolecola una delle reazioni radicaliche più favorite dello stadio della terminazione è la reazione tra due radicali «polimerili» tra di loro a dare del polimero reticolato (Fig. 4).

Nel polivinilcloruro invece uno degli effetti dovuti all'ambiente esterno è una progressiva perdita di acido cloridrico con formazione di dieni coniugati lungo la catena polimerica.



La deidroclorurazione avviene in un sottile strato superficiale (circa 2 μm di spessore) perché il poliene che si forma assorbe in gran parte la radiazione incidente impedendole così di arrivare agli strati più interni.

La protezione

Il processo di fotoossidazione prima descritto è il maggior responsabile del decadimento chimico-fisico dei materiali polimerici. Per evitare questo processo o meglio per ritardarlo il più possibile sono stati messi a punto una serie di prodotti «stabilizzanti», che possono essere intimamente mescolati con i polimeri, sfruttandone le caratteristiche di lavorabilità, così da ottenere un materiale con caratteristiche fisiche analoghe ma più resistente alla fotoossidazione.

Primi fra tutti vengono aggiunti, a volte subito dopo la polimerizzazione, degli antiossidanti che possono essere distinti in due classi:

a) antiossidanti primari: sono composti che reagiscono con i radicali appena formati impedendone il processo di reazione a catena. Essi sono essenzialmente fenoli stericamente impediti o ammine secondarie;

b) antiossidanti secondari o decompositori di idroperossidi: questi sono esteri dell'acido fosforico, fosfiti o tioesteri.

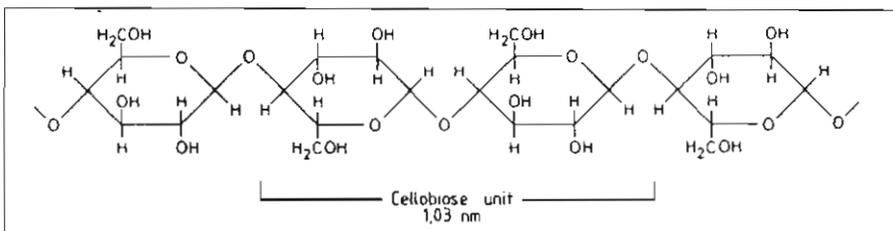


Fig. 6 - Unità ripetitiva del polimero naturale cellulosa.

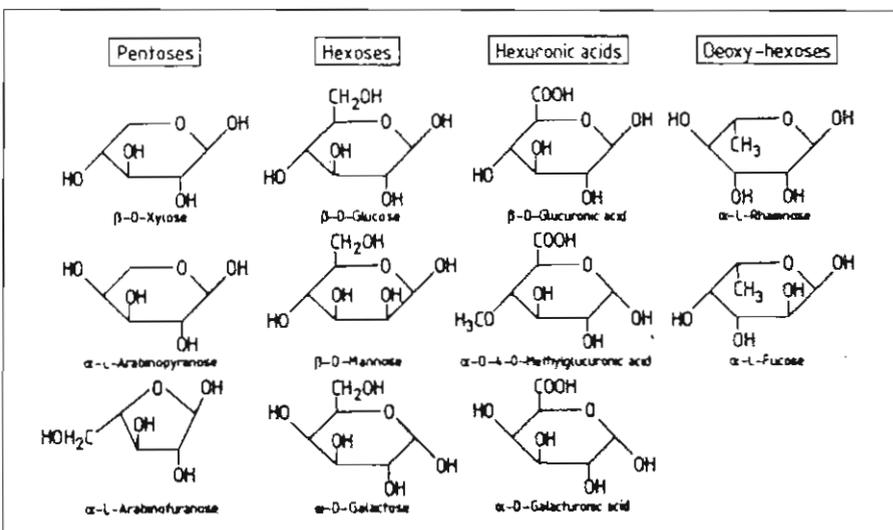


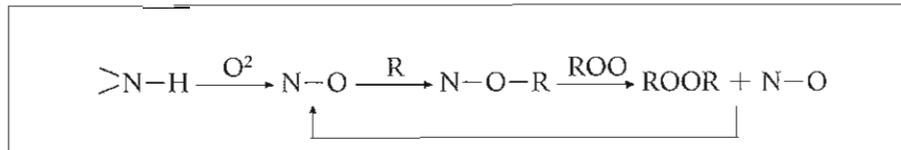
Fig. 7 - Molecole che formano l'unità ripetitiva delle emicellulose.

Sono stati inoltre studiati e sintetizzati degli additivi specifici per limitare il processo fotoossidativo. Essi possono essere così distinti:

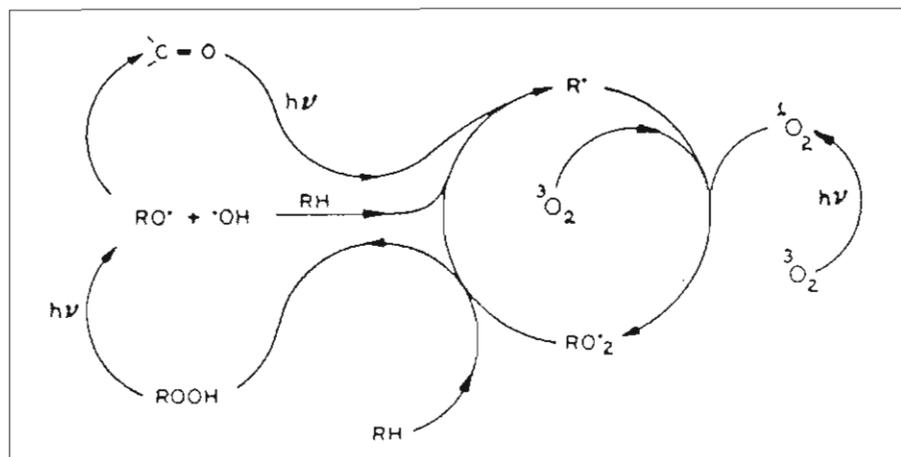
a) Assorbitori di UV: sono composti (ad es. benzofenoni) che assorbono la luce solare e la dissipano sotto forma di calore impedendole così di essere assorbita da quelle impurezze presenti nel polimero che invece la dissiperebbero attraverso una reazione fotochimica.

b) Quenchers: sono complessi del nickel che si pensava avessero la specifica azione di evitare il dissipamento dell'energia UV attraverso reazioni fotochimiche. Attualmente si è portati a ritenere che reagiscano molto facilmente con idroperossidi.

c) HALS (Hindered Amines Light Stabilizers): è una classe abbastanza recente di stabilizzanti che ha la caratteristica di contenere il gruppo tetrametipiridinico e di avere un'elevata efficacia nel «catturare» i radicali. Il loro meccanismo d'azione può essere descritto dallo schema a).



Schema a)



Schema b)

Il legno

Il legno è composto da due prodotti principali: lignina (18/35%) e carboidrati (65/75%).

I carboidrati del legno sono a loro volta formati da una miscela di uguali quantità di cellulosa ed emicellulose.

La lignina è una sostanza polimerica fenolica tridimensionale composta da un insieme irregolare di unità fenilpropaniche legate tra di loro da legami eterici o legami C-C (Fig. 5). È probabile che la lignina sia legata con legame covalente ad un carboidrato ma non se ne conosce il peso molecolare perché i metodi di isolamento della lignina finora sperimentati sono anche degradativi.

La cellulosa è un polimero in parte cristallino del glucano (Fig. 6) formato da catene lineari che possono contenere fino a 15.000 unità monomeriche.

Le emicellulose sono polimeri amorfi a più basso peso molecolare, la cui unità monomerica può essere uno degli zuccheri mostrati in figura legate tra di loro da un legame 1-4 glucosidico.

Nel legno inoltre è sempre presente una quantità che va dal 4 al 10% di sostanze che possono essere estratte da solventi organici neutri. Queste sostanze sono miscele di grassi, cere, al-

caloidi, proteine, resine terpeniche, amido, oli essenziali ecc. Esse non fanno parte della struttura del legno ma sono responsabili del suo colore, del suo odore, del suo aspetto fisico, ecc.

Un altro componente che è sempre presente e la cui percentuale non è stata considerata in quelle descritte prima è l'acqua. Essa è responsabile di alcune proprietà fisiche del legno e deve essere presente in quantità almeno pari al 16% dei componenti fondamentali.

L'acqua tuttavia è uno degli elementi che più possono incidere sul deterioramento del legno nel tempo. Da una parte infatti, in presenza di un eccesso di acqua, il legno, data la sua struttura capillare (Fig. 7), può assorbirne per capillarità grandi quantità tali da far rigonfiare il materiale ed alla fine anche romperlo. In secondo luogo poi la pioggia a lungo andare lava le sostanze estraibili e asporta parte della lignina già degradata.

Il legno, come abbiamo visto, è un materiale organico naturale, quindi anche la luce e l'ossigeno dell'aria sono fattori che determinano in modo decisivo il suo invecchiamento. La lignina si trova essenzialmente nella parte esterna e data la sua struttura aromatica è in grado di assorbire direttamente l'energia della luce solare e il conseguente dissipamento dell'energia assorbita avviene mediante una

reazione fotochimica, con formazione di radicali organici, che a loro volta reagiscono con l'ossigeno secondo lo schema descritto per i materiali polimerici. Il processo fotochimico del legno può essere descritto dallo schema b):

Questo processo avviene in superficie quindi non riguarda quasi mai la cellulosa che si trova essenzialmente nella parte interna del materiale. La cellulosa inoltre è trasparente alle lunghezze d'onda della luce solare ma una sua degradazione per via fotochimica può avvenire in presenza di ioni ferrici o altre impurezze fotosensibili. Per queste ragioni quindi la degradazione della cellulosa è molto più lenta.

La cellulosa inoltre può subire anche una degradazione biologica operata da funghi o batteri che possono entrare nel legno come impurezze soprattutto trasportati dall'acqua.

Il legno inoltre è più sensibile degli altri materiali ad altri gas inquinanti presenti nell'atmosfera, come ad es. la SO₂ e la sua superficie è anche più soggetta ad abrasioni procurate da sabbia o altro pulviscolo trasportato dal vento.

Come già per i materiali metallici anche per il legno la protezione dall'invecchiamento viene attuata mediante la stesura sul materiale di vernici di varia composizione per le quali si può ripetere quanto già detto a proposito dei materiali metallici. ■

Influenza degli agenti esterni sulle proprietà del PVC rigido e sue formulazioni per serramenti esterni

Introduzione

Il PVC (cloruro di polivinile) rigido si presta ad un grande numero di applicazioni, in particolare nel settore dell'edilizia.

Nelle applicazioni esterne, il PVC è sottoposto all'azione delle intemperie ed è indispensabile che conservi nel tempo proprietà sufficienti sia dal punto di vista dell'aspetto (tinta), sia dal punto di vista meccanico.

La resistenza all'invecchiamento luminoso è, di conseguenza, uno fra le principali preoccupazioni dei fabbricanti di profilati in PVC rigido per edilizia, come, ad esempio, i telai per finestre, chiusure, rivestimenti esterni, recinzioni, ecc.

In questa relazione, descriveremo prima di tutto il processo generale di invecchiamento del PVC in funzione delle condizioni climatiche. Tratteremo anche il metodo particolare di esposizione costituito dai test accelerati. Nella seconda parte, analizzeremo l'influenza della formulazione del PVC sul comportamento durante l'invecchiamento naturale.

Processo di invecchiamento naturale del PVC rigido

L'invecchiamento del PVC è il risultato della sua degradazione termica durante trasformazione e della sua degradazione fotochimica nel corso della sua esposizione ai raggi solari.

La sollecitazione durante la trasformazione genera, nella macromolecola del PVC, dei doppi legami che assorbono lunghezze d'onda che fanno parte dello spettro solare.

Analizziamo di seguito i diversi fenomeni, schematizzati nella figura 1:

1) la deidroclorurazione del PVC, che porta alla formazione di doppi legami congiunti (CH=CH); quando n supera 8, i doppi legami assorbono la luce visibile, producendo un ingiallimento;

2) l'ossidazione dei doppi legami che produce l'attenuarsi e persino la

di
R. Magnus
(Solvay - Bruxelles)

scomparsa dell'ingiallimento. Si formano anche molecole sensibili all'acqua che si possono eliminare facilmente dalla superficie;

3) una reticolazione che produce delle tensioni elevate in superficie e che porta ad avere delle microfessurazioni e un distacco dello strato superficiale dalla matrice.

La disgregazione della superficie, dovuta all'ossidazione ed alla reticolazione, è accompagnata da una perdita di brillantezza. La diffrazione della lu-

ce nelle microfessure conferisce ai profilati un aspetto bianco. Dal punto di vista meccanico, la microfessurazione provoca una diminuzione delle proprietà meccaniche.

Se lo strato superficiale degradato è eliminato per erosione o pulitura, si ritrova uno strato di PVC non degradato la cui colorazione si avvicina alla colorazione iniziale, ma la cui brillantezza è attenuata dalla mancanza di planarità della superficie. Lo stesso ciclo di degradazione può allora ricominciare su questo nuovo strato. L'eliminazione dello strato degradato permette di recuperare una parte delle proprietà meccaniche.

L'invecchiamento naturale del PVC così come l'abbiamo descritto è, dun-

Fig. 1 - Processo di invecchiamento naturale

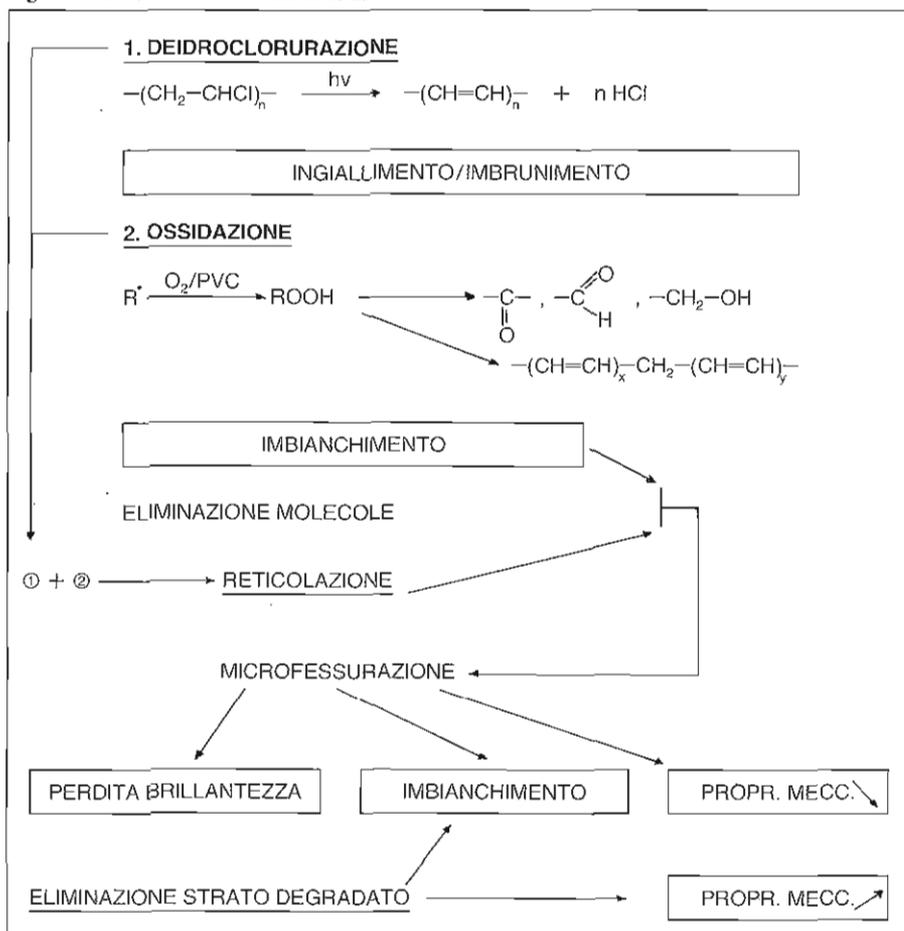
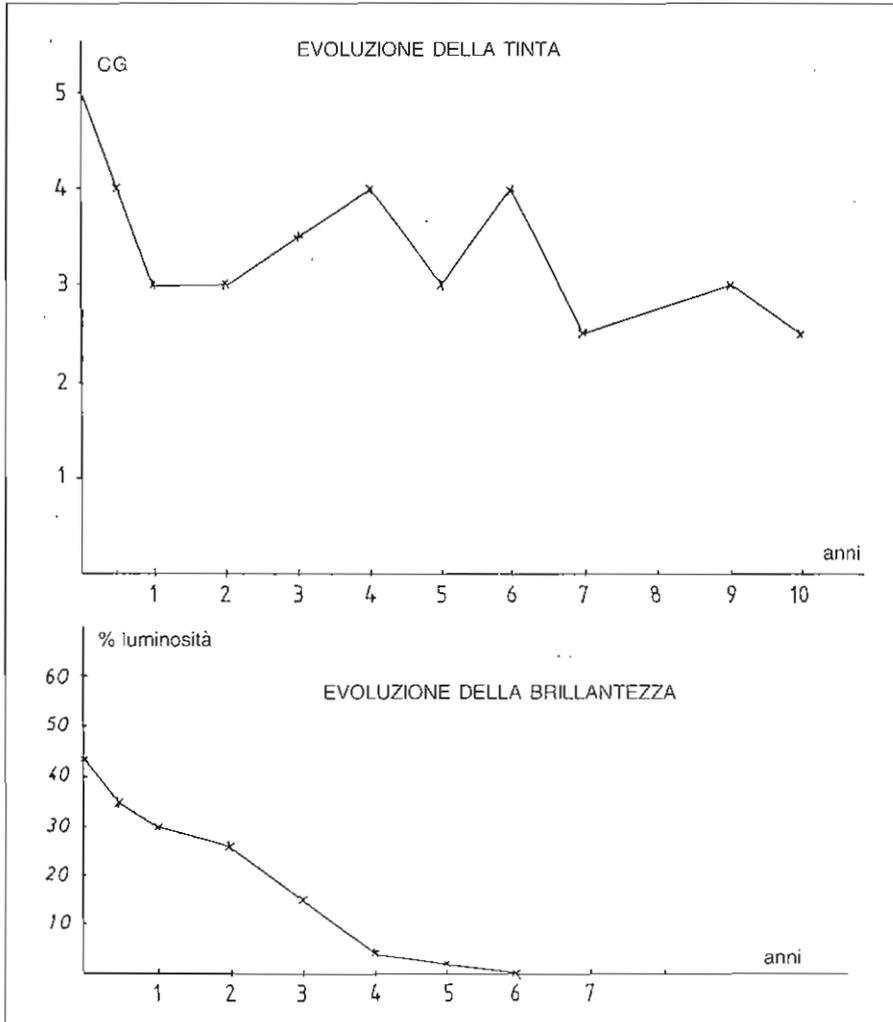
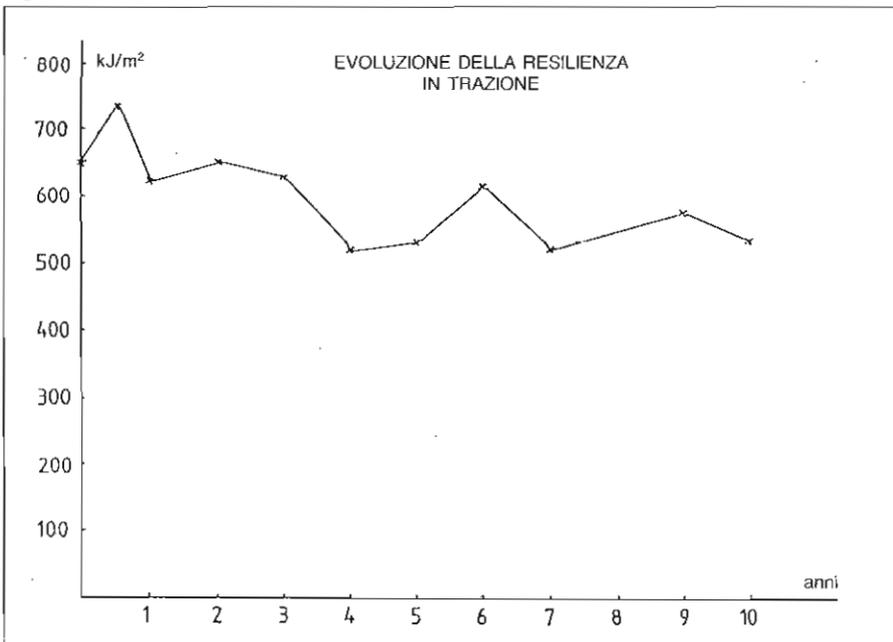


Fig. 2



PVC bianco stabilizzazione Pb - Esposizione 45° Sud Martorell

Fig. 3



PVC bianco stabilizzazione Pb - Esposizione 45° Sud Martorell

que, un fenomeno che si ripete: degradazione di uno strato superficiale, eliminazione di qualche micron di PVC in superficie con rigenerazione parziale della tinta e delle proprietà meccaniche e con perdita di brillantezza.

Questo fenomeno, chiamato *invecchiamento a più strati*, è illustrato, a titolo di esempio, nelle figure 2 e 3, per un profilato bianco stabilizzato con piombo in commercio nel mercato europeo. Tale profilato, inclinato di 45° ed orientato verso sud, è stato esposto a Martorell, nella Spagna settentrionale. L'evoluzione del colore è rappresentata dal contrasto secondo la scala dei grigi CG (secondo DIN 54001), mentre l'evoluzione della brillantezza è espressa in percentuale rispetto al campione del goniofotometro Zeiss GP 2. La resilienza in trazione viene misurata secondo le direttive dell'UEATc.

Vediamo, ora, quale è l'influenza delle condizioni climatiche sulla cinetica dell'invecchiamento.

Cinetica di invecchiamento in funzione delle condizioni climatiche

A) Incidenza delle condizioni climatiche sull'evoluzione del colore del PVC durante l'invecchiamento

I risultati che saranno presentati in questa relazione sono tratti da esperimenti sull'invecchiamento naturale condotti dalla Solvay durante un arco di tempo di 20 anni. Circa 5000 formulazioni sono state esposte, in diverse forme (profilati pesanti e leggeri, aste, ...), in diversi posti sparsi in tutto il mondo.

I principali luoghi di esposizione utilizzati dalla Solvay sono caratterizzati dal punto di vista climatico nella tabella 1. Vi abbiamo anche incluso alcuni dati relativi ad alcune città italiane. La cartina acclusa mostra le zone climatiche che noi distinguiamo in Europa.

Le cinetiche dei meccanismi di deidroclorurazione e di ossidazione variano in funzione delle condizioni climatiche (irraggiamento solare, temperatura e umidità).

In generale è possibile affermare che, in un clima temperato, predomina l'ossidazione, mentre in un clima caldo e secco la deidroclorurazione può diventare la reazione determinante. Prendiamo, ora, in considerazione un profilato bianco esposto in 3 tipi di

Tab. 1

CONDIZIONI CLIMATICHE DEI DIVERSI LUOGHI DI ESPOSIZIONE						
Luogo	Irraggiamento annuale su superficie orizzontale (cal/cm ²)	Temperatura media dell'anno in °C	Temperatura del mese più caldo media in °C	Temperature del mese più caldo media delle massime	Umidità relativa %	Pioggia all'anno in mm
Bruxelles (Belgio)	80000	9,5	17	21,5	75	840
Rheinberg (RFT)	70000	9,5	17	19,5	—	930
Sauerland (RFT)	75000	7	13	—	—	1450
Tavaux (Francia)	90000	10,5	21	25	77	720
Bandol (Francia)	125000	15	25	—	55	1080
Martorell (Spagna)	120000	16	26	33	67	600
Siviglia (Spagna)	145000	18,5	27	36	65	600
Phoenix (Arizona)	175000	21,5	34	40	35	220
Miami (Florida)	150000	23	27	32	75	1600
Dakar (Senegal)	160000	24,5	27,5	30,5	77	610
Piracicaba (Brasile)	150000	21	23,5	30	70	1250
Iguazu (Argentina)	150000	20,5	27	37	85	2000
QUALCHE DATO CLIMATOLOGICO SULL'ITALIA						
Milano	95000	13	24,5	29	70	800
Roma	120000	16	25	32	65	900
Palermo	145000	17,5	26	—	65	700

Zone climatiche per l'invecchiamento del PVC

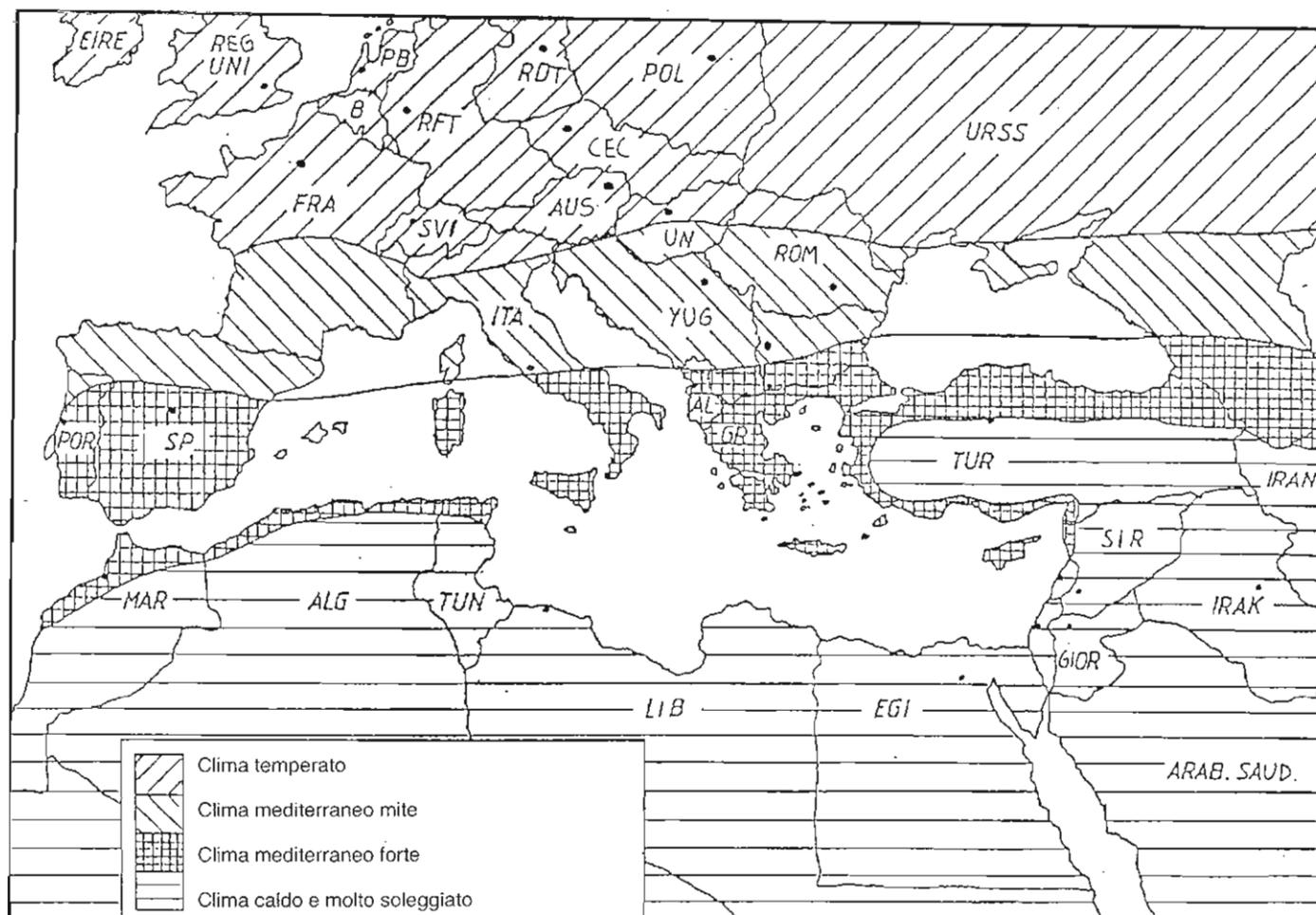
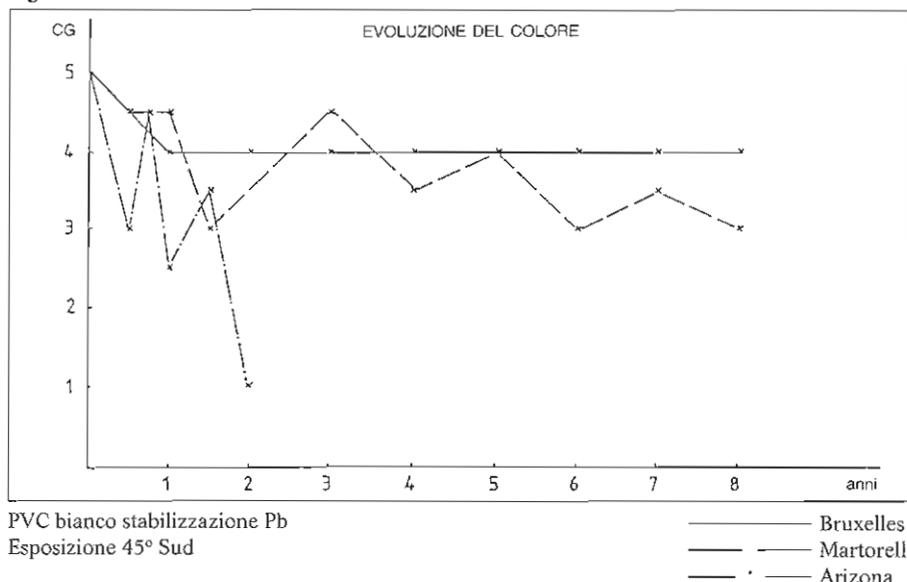


Fig. 4



PVC bianco stabilizzazione Pb
Esposizione 45° Sud

— Bruxelles
- - - Martorell
- · - Arizona

clima e per il quale abbiamo seguito l'evoluzione del colore e di alcune caratteristiche fisiche e chimiche.

1) *Comportamento in un clima caldo e secco (tipo: Arizona)*

Quando la temperatura è elevata e l'irraggiamento solare notevole, la deidroclorurazione e la conseguente formazione dei doppi legami è rapida. Ciò causa un ingiallimento e persino un «imbrunimento».

La degradazione del PVC progredisce in profondità, ma è rallentata da additivi che formano uno schermo UV (ad esempio, il TiO_2) ed anche dal fat-

to che diminuisce il numero di molecole di PVC capaci di originare doppi legami.

L'ossidazione dei numerosi doppi legami esistenti si produce a quel punto e porta all'attenuarsi, o addirittura alla scomparsa di questo ingiallimento-imbrunimento, causando una microfessurazione ed una perdita di brillantezza.

L'eliminazione dello strato degradato mette a nudo uno strato di PVC vergine la cui colorazione si avvicina alla colorazione iniziale, ma la cui brillantezza è attenuata dalla mancanza di planarità della superficie.

Lo stesso ciclo di degradazione riprende allora su questo strato.

Tuttavia, se la formula non è adatta ad un tale clima, l'ossidazione si rivela insufficiente per evitare, alla lunga, un imbrunimento inaccettabile, come mostrato dalla figura 4.

Per questi climi, la Solvay ha realizzato delle formulazioni speciali, caratterizzate da cicli di degradazione-rigenerazione rapidi, evitando così un ingiallimento inaccettabile (figura 5);

Un clima caldo, molto soleggiato e secco porta, dunque, ad un invecchiamento a più strati. Il ciclo di degradazione-rigenerazione è tanto più corto quanto più la temperatura è elevata e l'irraggiamento solare. L'invecchiamento a più strati spiega le rigenerazioni parziali della tinta osservate nel corso dell'esposizione in Arizona.

2) *Comportamento in un clima temperato (tipo: Bruxelles)*

Quando la temperatura è relativamente bassa e l'irraggiamento debole, sin dall'inizio l'ossidazione è tanto rapida quanto la formazione di doppi legami. I legami doppi sono, dunque, ossidati a mano a mano che compaiono e si osserva solo un leggero imbrunimento.

La quantità di prodotti di ossidazione è abbastanza modesta e, di conseguenza, la microfessurazione è solo parziale. Lo strato superficiale tende, dunque, a restare aderente e produce un «imbianchimento» che non è visibile sui profilati bianchi, ma che diventa imbarazzante sui profilati dai colori vivaci.

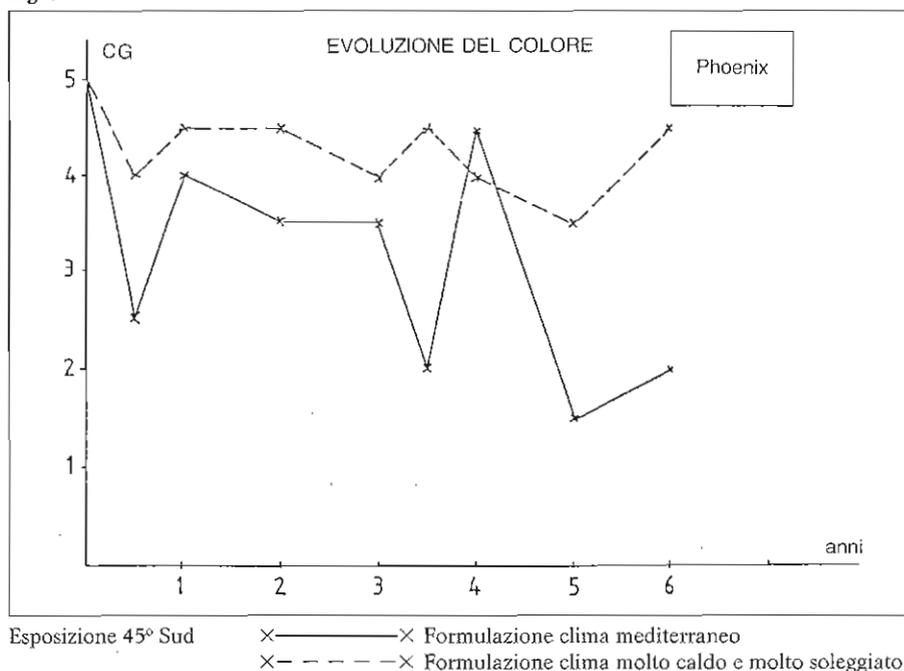
Questo meccanismo permette di capire le difficoltà che si incontrano per realizzare delle formule che diano risultati soddisfacenti, a lungo termine, nel campo delle tinte vivaci. Cionondimeno, sono in commercio già da 8 anni delle soluzioni valide nel colore bruno scuro. Vi sono risultati promettenti anche in altre tinte diverse dal bruno.

Un clima temperato porta, dunque, ad un invecchiamento a tendenza monostrato, in cui non si verifica una rigenerazione rapida (figura 4). A lunghissimo termine, si può tuttavia arrivare ad una rigenerazione per eliminazione dello strato superficiale.

3) *Comportamento in un clima mediterraneo (tipo: Martorell/Spagna, come l'Italia settentrionale)*

La caratterizzazione dei climi illu-

Fig. 5



Esposizione 45° Sud

× — × Formulazione clima mediterraneo
× - - - × Formulazione clima molto caldo e molto soleggiato

Tab. 2 -

Cinetica della colorazione del PVC						
	Ar	Ma	Br	Br/Ar	Br/ma	Ma/Ar
BIANCO						
1ª degradazione	6 m	18 m	> 72 m	> 12	> 4	3
1° ciclo	9 m	36 m				4
2ª degradazione	12 m	48 m				4
2° ciclo	18 m	60 m				3,33
BRUNO						
1ª degradazione	6 m	24 m	60 m	10	2,5	4
1° ciclo	18 m	48 m	> 72 m	> 4	> 1,5	2,66
Fattori medi di accelerazione						
Bruxelles: 1						
Martorell: 2,9 fattore: 3,5						
Arizona: 10 fattore: 3,5						

strati nella tabella 1 ci indica che il clima di Martorell è a metà strada fra il clima di Bruxelles ed il clima dell'Arizona.

Anche a Martorell si può constatare un invecchiamento a più strati, ma il ciclo di degradazione-rigenerazione si produce più lentamente rispetto all'Arizona.

4) Influenza del luogo di esposizione sulla cinetica d'evoluzione del colore

Con la formulazione bianca presa in considerazione, la prima degradazione si manifesta in Arizona dopo 6 mesi e a Martorell dopo 18 mesi; a Bruxelles, non si è ancora manifestata dopo 8 anni.

Una seconda degradazione ha inizio dopo 9 mesi in Arizona e dopo 3 anni a Martorell.

La seconda rigenerazione finisce dopo 18 mesi in Arizona e dopo 5 anni a Martorell (figura 4);

La cinetica del ciclo degradazione-rigenerazione, osservata visivamente tramite la colorazione della superficie del profilato, è riassunta nella tabella 2, in cui abbiamo riportato anche i risultati ottenuti con un profilato bruno. Per la fase iniziale dell'invecchiamento, è possibile dedurre i seguenti fattori di accelerazione rispetto a Bruxelles:

- Bruxelles: 1
- Martorell: 2,9
- Arizona: 10.

B) Caratterizzazione fisica e chimica della cinetica di invecchiamento del PVC

I risultati evocati qui sopra dimostrano che la differenza fra i climi provoca una differenza nella cinetica del-

la degradazione della superficie del PVC.

Abbiamo esaminato il fenomeno dell'invecchiamento servendoci di alcune tecniche spettroscopiche e microscopiche che descriviamo brevemente con i relativi risultati.

1) Spettroscopia UV

La tecnica della spettroscopia nell'UV-visibile è adatta per seguire l'evoluzione, nel corso del tempo, delle insaturazioni.

Poiché l'invecchiamento luminoso del PVC è un fenomeno relativo alla superficie, questa tecnica esige che si separi la superficie invecchiata.

Per ottenere lo spettro bisogna mettere in soluzione lo strato degradato.

Come criterio per valutare l'inizio di degradazione, abbiamo preso l'energia solare necessaria per provocare un assorbimento a 400 nm (il che corrisponde alla comparsa di legami $(CH=CH)_8$).

Per i tre luoghi di esposizione, che rappresentano tre tipi di clima, otteniamo i seguenti fattori relativi di accelerazione:

- Bruxelles: 1
- Martorell: 2,3
- Arizona: 10,8.

2) Spettroscopia IR

La spettroscopia infrarossa a riflettanza multipla permette di seguire il consumo di carbonato di calcio presente nella quasi totalità dei composti per finestre, modificati e non modificati e la sua trasformazione progressiva in cloruro.

Per questa tecnica, occorre preparare una pellicola sottile partendo dal profilato esposto.

Come criterio per valutare l'inizio di degradazione, abbiamo preso l'energia solare necessaria per avere un consumo del 50% del $CaCO_3$ iniziale.

Per i nostri tre luoghi di esposizione, si ottengono i seguenti fattori di accelerazione:

- Bruxelles: 1
- Martorell: 2,2
- Arizona: 8,9.

3) Profondità dello strato degradato (PSD)

È stata messa a punto una tecnica che permette di seguire l'evoluzione della profondità dello strato degradato.

Dal prodotto esposto sono state prelevate delle sezioni sottili che sono state osservate durante una trazione a velocità modesta.

La trazione fa comparire alcune scissioni nello strato invecchiato. La loro profondità viene misurata per mezzo di un oculare micrometrico.

Per i nostri tre luoghi di esposizione, nella prima fase di invecchiamento la degradazione dello strato superficiale è dell'ordine di:

- Bruxelles: 1 μ m/anno;
- Martorell: 2 μ m/anno;
- Arizona: 9 μ m/anno.

C) Bilancio cinetico globale

Le cinetiche di degradazione in funzione del clima, valutate tramite le tecniche fisiche e chimiche, sono raccolte nella tabella 3. Esse si accordano in modo ragionevolmente soddisfacente con la cinetica di evoluzione del colore. Di conseguenza, i fattori medi di accelerazione per la fase iniziale dell'invecchiamento sono:

- Bruxelles: 1
- Martorell: 2,3
- Arizona: 9,7.

Questa rappresentazione ci permette anche di vedere l'enorme importanza della temperatura nei confronti dell'invecchiamento, confrontando nei tre luoghi l'irraggiamento solare necessario per ottenere la stessa degradazione (misurata tramite UV o IR): a Martorell, occorre circa il 60% dell'irraggiamento necessario a Bruxelles, mentre a Phoenix solo il 25%.

L'influenza della temperatura è illustrata nella figura 6. Abbiamo preso come temperatura caratteristica del luogo la temperatura media di luglio. Si è ottenuta la stessa legge utilizzando

Tab. 3 - Cinetica dell'invecchiamento naturale del PVC in funzione del clima.

		Bruxelles T = 9,5°C	Martorell T = 16,5°C	Arizona T = 21,5°C
Formazione di doppi legami coniugati $-(CH=CH)_n-$; tramite spettroscopia UV-visibile	irraggiamento necessario per assorbimento a 400 nm durata corrispondente fattore relativo	183000 langley 100% 2,15 anni 1	112000 langley 60% 0,93 anni 2,3	38000 langley 21% 0,20 anni 10,8
Consumo di CaCO ₃ causato dalla deidroclorurazione; tramite multiriflettanza IR	irraggiamento necessario per il 50% del consumo durata corrispondente fattore relativo	182000 langley 100% 2,14 anni 1	115000 langley 63% 0,96 anni 2,2	45000 langley 25% 0,24 anni 2,2
Profondità dello strato degradato	micron/anno fattore relativo	1 μ/anno 1	2 μ/anno 2	9 μ/anno 9
Rigenerazione della tinta	fattore relativo	1	2,9	10
Cinetica media dell'invecchiamento	fattore relativo	1	2,3	9,7

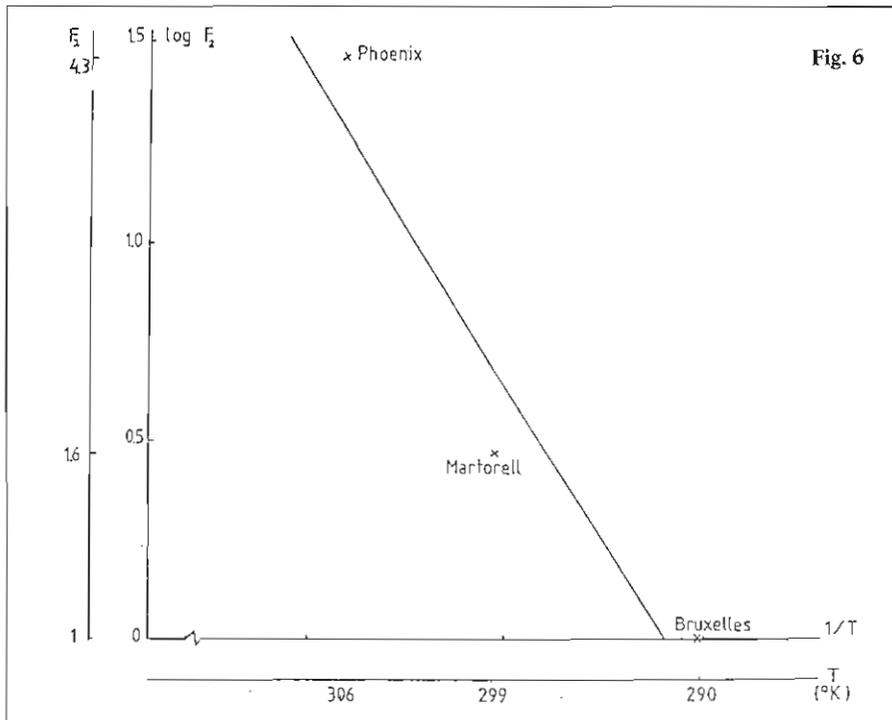


Fig. 6 - Cinetica dell'invecchiamento. Influenza della temperatura e dell'irraggiamento

Luogo	F	R	F1	Tj	F2
Bruxelles	1	85000	1	17	1
Martorell	2,4	130000	1,5	26	1,6
Phoenix	9,7	190000	2,2	33	4,3

F = fattore di accelerazione rispetto a Bruxelles

$$F = F1 \cdot F2 \text{ con } F1 = R/RBru$$

$$F2 = k \cdot \exp(-E/rTj) : \text{ legge di Arrhenius}$$

k = costante preesponentiale

E = energia di attivazione

R = irraggiamento solare su una superficie 45 Sud (cal/cm²)

RBru = irraggiamento solare su una superficie 45 Sud a Bruxelles (cal/cm²)

Tj = temperatura media di luglio (°C) scelta come caratteristica termica dei luoghi di esposizione (lo stesso tipo di legge è stato ottenuto utilizzando la temperatura media dell'anno)

r = costante universale dei gas.

do la temperatura media dell'anno. Infatti, è possibile ricavare i fattori di accelerazione fra i diversi luoghi sotto forma di prodotto di due fattori:

– un fattore F₁ che esprime l'incidenza lineare dell'irraggiamento solare sull'invecchiamento naturale;

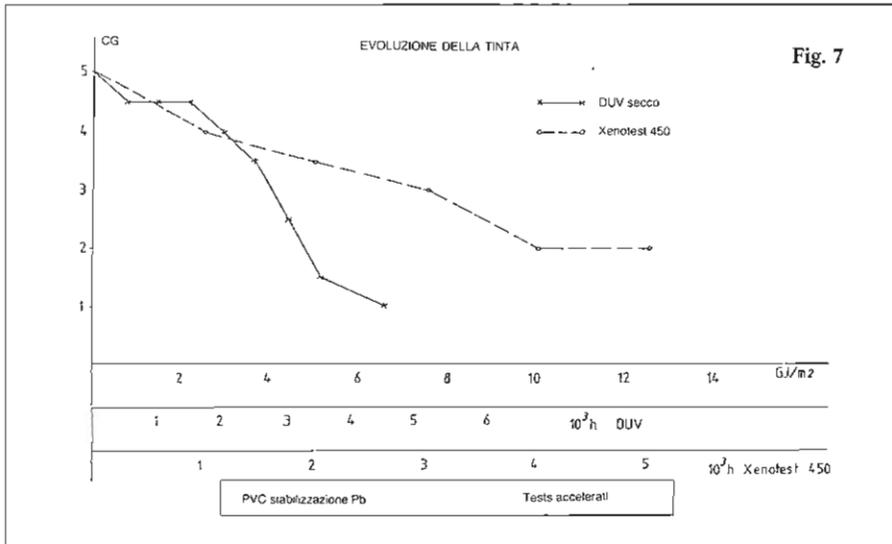
– un fattore F₂ che esprime l'incidenza della temperatura che segue una legge di Arrhenius. Per determinare con precisione i valori numerici dei parametri k e E di questa legge, occorrerebbero degli esperimenti supplementari nei luoghi di esposizione.

Poiché i meccanismi variano da un luogo di esposizione all'altro, non si possono estrapolare i risultati fra i diversi luoghi sulla sola base di questi coefficienti di accelerazione.

D) Comportamento nei test accelerati

Trattiamo, ora, il modo particolare di esposizione costituito dai test di invecchiamento accelerato. L'inconveniente principale dell'esposizione naturale è, evidentemente, la lentezza con cui si svolgono i fenomeni di invecchiamento. Perciò, come molti altri, abbiamo cercato dei test accelerati che potessero fornirci, in un breve lasso di tempo, informazioni sul comportamento dei nostri prodotti.

Nel capitolo precedente, abbiamo presentato alcuni esempi che mostrano che l'invecchiamento naturale del PVC non avviene allo stesso modo in tutti i climi. Fin dall'inizio si può, dunque, concludere che bisognerebbe disporre di numerosi test per simulare le diverse condizioni climatiche, il che



costituisce già, a priori, una costrizione notevole.

Una seconda esigenza relativa ai test accelerati è che devono riprodurre le due fasi dell'invecchiamento:

— deidrociorurazione e imbrunimento;

— ossidazione, con scomparsa dell'imbrunimento, «sfarinamento» (N.d.t. = comparsa, sulla superficie esterna di una pellicola di vernice polverulenta poco aderente) e perdita di brillantezza.

Gli esempi che seguono dimostrano che i classici apparecchi con lampade allo Xeno non soddisfano questa esigenza.

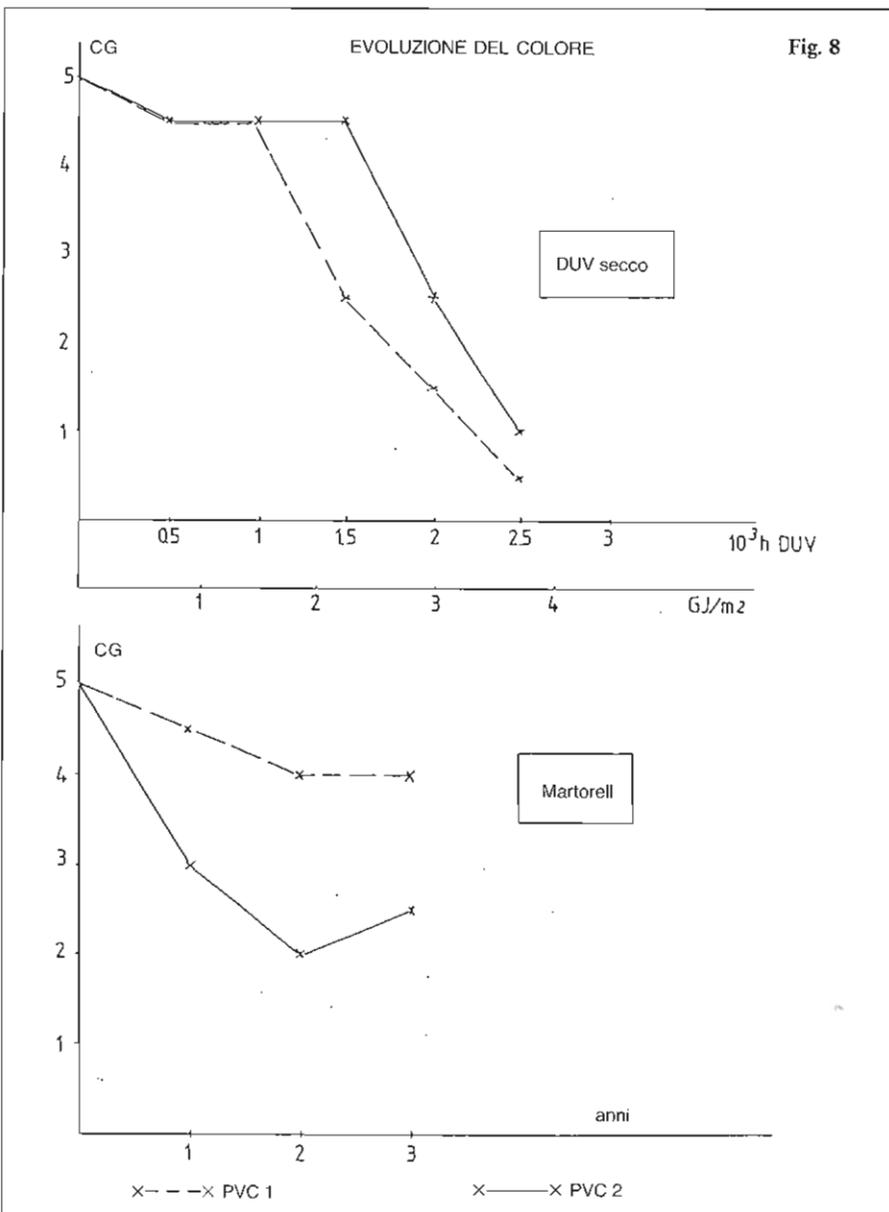
La formulazione di PVC bianco per clima mediterraneo, già citata nel paragrafo precedente (cfr. figura 2), è stata sottoposta a due test di invecchiamento accelerato che utilizzano, come fonte di irraggiamento, una lampada allo Xeno. La figura 7 rappresenta l'evoluzione della tinta.

Si può constatare che i test non riproducono la rigenerazione della tinta, rigenerazione caratteristica dell'invecchiamento naturale. L'ossidazione dei doppi legami coniugati è nettamente insufficiente, sia nello Xenotest 450 con irrigazione, sia nel test DUV asciutto. Sembra, dunque, che l'invecchiamento del PVC non avvenga nello stesso modo nei test accelerati rispetto all'esposizione naturale, perché non produce invecchiamento a più strati.

Un motivo per questa mancanza di correlazione fra invecchiamento naturale ed invecchiamento accelerato potrebbe essere la lenta cinetica di diffusione dell'ossigeno nel PVC degradato in un ambiente artificiale. In assenza di ossigeno si accentua un fenomeno fotolitico che si traduce nella formazione di polieni coniugati che si ossidano con più difficoltà (rif. 7).

Non stupisce, dunque, che i test accelerati non permettano di classificare in modo corretto alcuni prodotti. La figura 8 illustra un'inversione di comportamento per due formulazioni bianche di qualità diversa nell'esposizione naturale a Martorell e in un test accelerato.

Questi risultati confermano le conclusioni dello studio di Trubiroha (rif. 1): gli attuali apparecchi per l'invecchiamento artificiale non convengono per simulare l'invecchiamento naturale del PVC rigido.



Le estrapolazioni dell'esposizione naturale di tali risultati ottenuti nei test accelerati, potrebbero, dunque, portare ad errori fondamentali di stima. Riassumendo, i test accelerati che abbiamo avuto l'occasione di effettuare, raramente hanno dato informazioni estrapolabili sul comportamento pratico. Secondo noi, attualmente solo i test di invecchiamento naturale permettono di valutare in modo valido la resistenza di un PVC esposto alle intemperie. Noi perseguiamo la nostra ricerca in questo campo allo scopo di

trovare dei test accelerati che permettano di simulare in modo corretto i fenomeni di invecchiamento naturale.

Influenza della formulazione del PVC sul comportamento durante l'invecchiamento naturale

Gli esempi presentati nei capitoli precedenti indicano chiaramente che la cinetica dell'invecchiamento del PVC dipende fortemente dalle condizioni climatiche.

Questa constatazione ha una conse-

guenza importante agli effetti pratici: un profilato in PVC che si comporta bene in Germania, in Belgio o in Francia settentrionale (clima tipo Bruxelles) non sempre si può utilizzare in Francia meridionale, in Spagna o in Italia (clima tipo Martorell) senza che si adatti la sua formulazione rispetto a queste nuove condizioni climatiche. Allo stesso modo, un PVC che va bene per il clima mediterraneo, non sempre si può utilizzare in climi molto caldi e molto assolati (tipo Arizona).

Qui di seguito mostriamo, a titolo di esempio, l'incidenza di due tipi di additivi usati abitualmente nei profilati: il pigmento TiO_2 e l'agente modificante «choc».

A) Influenza della dose di TiO_2

Oltre al suo ruolo di pigmento bianco, il TiO_2 svolge anche un'importante funzione come schermo anti-UV per il PVC. Purtroppo, possiede anche una certa «fotoattività» che influenza in modo negativo l'invecchiamento. La scelta del tipo e della dose del TiO_2 è, dunque, molto importante.

Nella rappresentazione dei risultati di invecchiamento qui riportati, utilizzeremo di nuovo il contrasto secondo la scala dei grigi e, inoltre, la resilienza in trazione misurata secondo le direttive dell'UEATc.

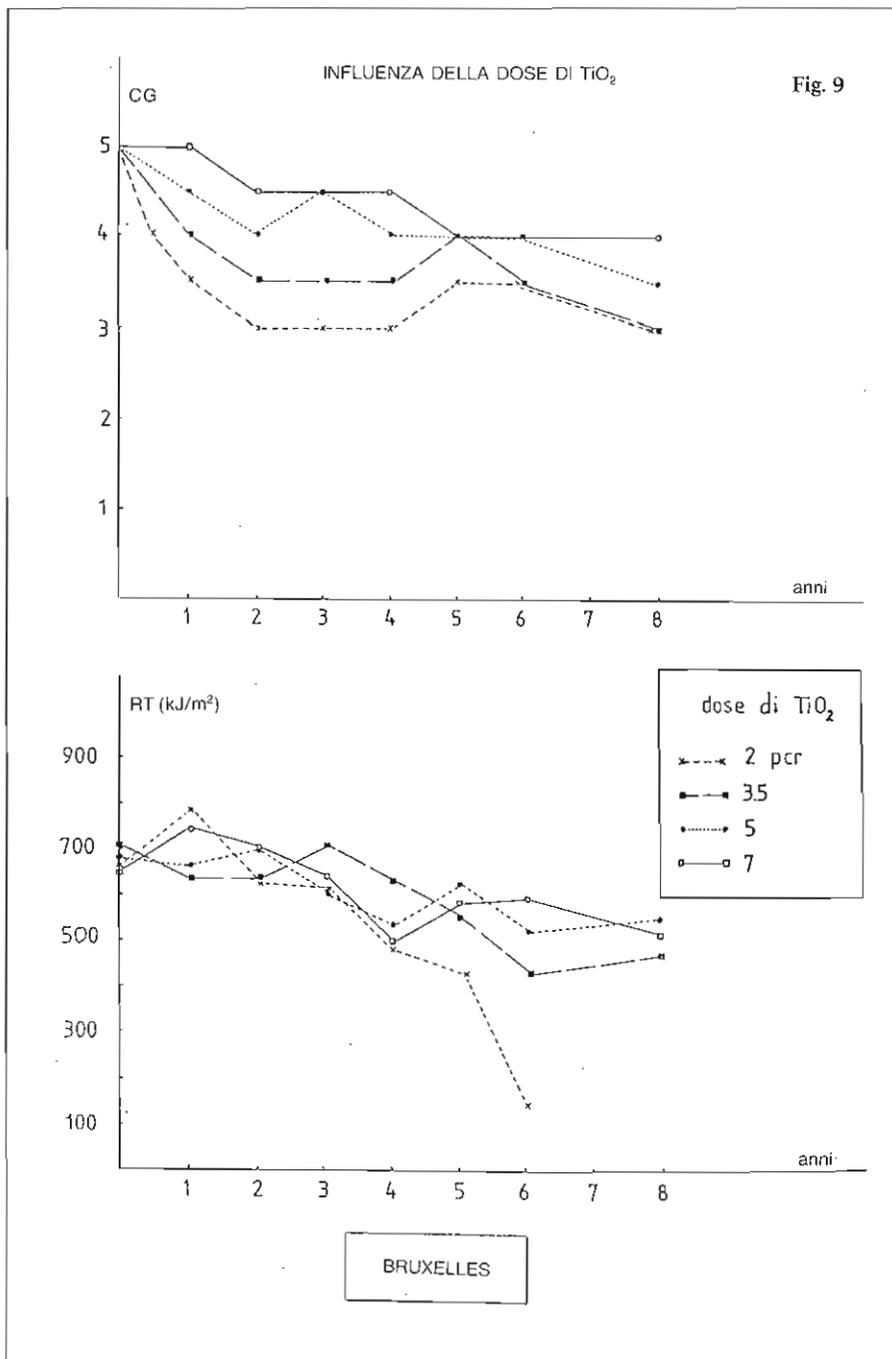
Nella figura 9 abbiamo rappresentato l'evoluzione della tinta e l'evoluzione della resistenza all'urto per composti non rinforzati con diverse dosi di uno stesso tipo di TiO_2 .

A Bruxelles si può constatare che la tinta si mantiene ragionevolmente bene con solo 2 pcr di TiO_2 . La conservazione a lungo termine delle proprietà meccaniche, invece, richiede l'utilizzo di 3,5 pcr di TiO_2 . La conservazione a lungo termine delle proprietà meccaniche, invece, richiede l'utilizzo di 3,5 pcr di TiO_2 .

Abitualmente si ritrova un tasso simile di TiO_2 in alcuni profilati presenti nel mercato tedesco e, talvolta, anche dei tassi inferiori.

La figura 10 dimostra chiaramente quali sono i rischi che si incorrono utilizzando tali prodotti in regioni come la Francia meridionale o l'Italia settentrionale: dopo soli due anni, si manifesta una notevole ed inaccettabile fragilità. Dunque, è necessaria una dose minima di 5 pcr di TiO_2 nei PVC non rinforzati per affrontare con successo il clima mite mediterraneo.

Se ci si dirige ancora più verso sud,



ad esempio in Spagna meridionale, in Italia meridionale, in Grecia, vale a dire in paesi che hanno un clima mediterraneo forte (come Siviglia - tabella 1), diventano indispensabili delle dosi ancora più elevate.

La figura 11 mostra che, per un recente studio di tre anni, una formula non rinforzata richiede una dose minima di 6 pcr di TiO_2 per evitare che, in in tale clima, si manifestino un ingiallimento ed una fragilità inaccettabili.

Concludendo, si può dire che un PVC bianco per applicazioni esterne richiede una protezione data da una quantità sufficiente di TiO_2 di buona qualità, quantità che deve adattarsi alle condizioni climatiche.

B) Influenza degli agenti modificanti polimerici «choc»

Uno dei modi per migliorare la resistenza del PVC agli urti è aggiungergli

degli agenti modificanti polimerici, come il PEC, l'EVA e gli acrilici. Questi agenti modificanti «choc» hanno anche una certa importanza riguardo all'invecchiamento del PVC.

Nella figura 12 abbiamo rappresentato il comportamento di alcune formule pigmentate con 4 pcr di TiO_2 in un clima temperato (Rheinberg in RFT) per diversi tipi di agenti rinforzanti choc: l'EVA (copolimero etilene-acetato di vinile) al 6%, acrilato di bu-

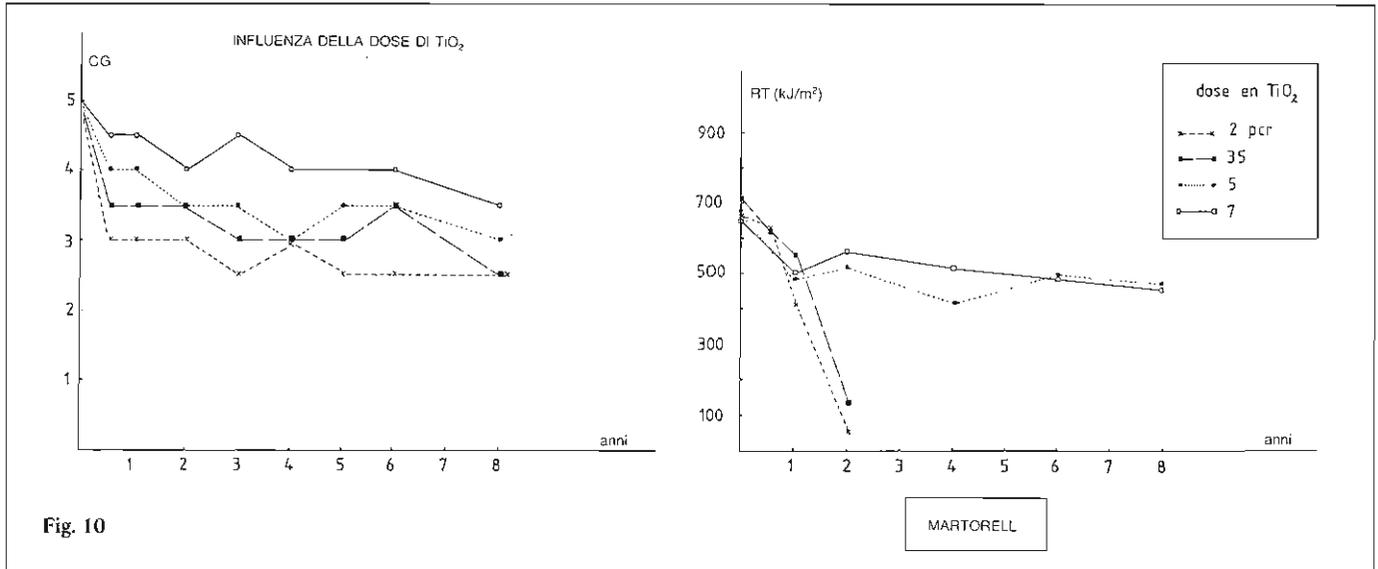


Fig. 10

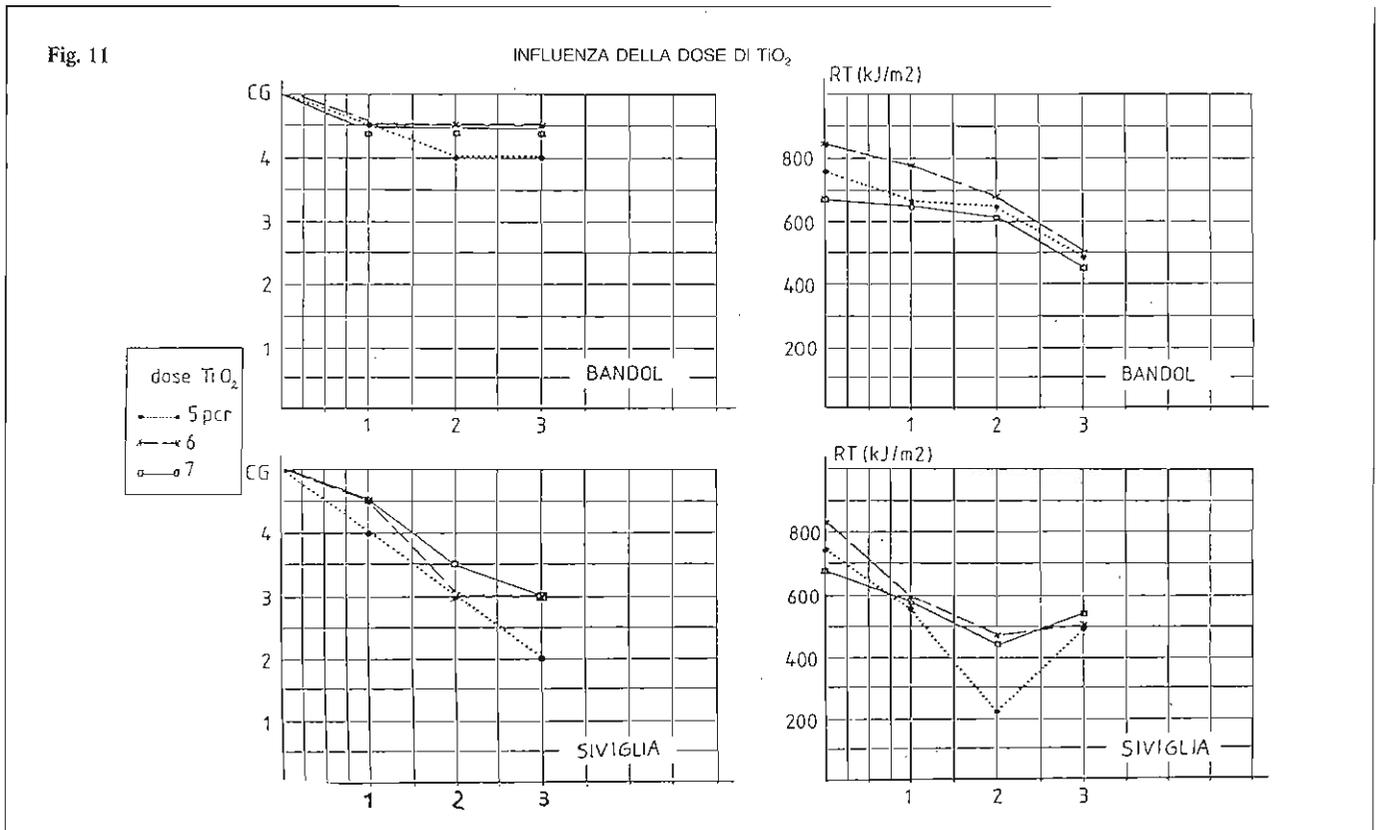


Fig. 11

tile al 7%, il PEC (polietilene clorato) al 10%. Abbiamo constatato che in Germania la stabilità della tinta durante le prove di invecchiamento è migliore nella formula non modificata.

La figura 12 mostra anche il comportamento in un clima mediterraneo delle formule a 7 per TiO_2 . La conservazione della tinta della formula modificata all'acrilico equivale al mantenimento della formula non modificata, ma la sua resistenza agli urti, sebbene ancora sufficiente dopo 8 anni di esposizione, è tuttavia inferiore a quella della formula non modificata.

Un recente studio iniziato 3 anni fa mostra anche una certa superiorità di resistenza all'invecchiamento luminoso delle formulazioni non modificate (cfr. figure 13 e 14). Il periodo è, tuttavia, ancora insufficiente per trarre delle conclusioni definitive.

Nella figura 13 abbiamo rappresentato i risultati di un'esposizione a 45° Sud a Martorell (clima mediterraneo mite - come in Italia settentrionale). Si può vedere che 5 per di TiO_2 bastano dopo 3 anni per garantire un buon comportamento da parte di una formulazione non modificata. In presenza di tale concentrazione, la formulazione acrilica presenta più rischi di fragilità e ha bisogno di 6 per di TiO_2 .

Nella figura 14 sono rappresentati i risultati dell'esposizione a 45° Sud a Siviglia (clima mediterraneo forte - come in Italia meridionale). Dopo 3 anni, un tasso di TiO_2 di 6 per garantisce un comportamento corretto della formula non modificata. In presenza di tale concentrazione, la formula acrilica mostra un rischio maggiore di ingiallimento ed ha bisogno di 7 per di TiO_2 .

Concludendo, in presenza di formulazione equivalente, gli agenti modificanti polimerici «choc» esercitano, a gradi diversi, un'influenza negativa sulla resistenza all'invecchiamento del PVC. Tuttavia è perfettamente possibile realizzare prodotti modificati choc che abbiano un buon comportamento all'invecchiamento, adattando la loro formulazione per ogni tipo di clima.

Conclusioni

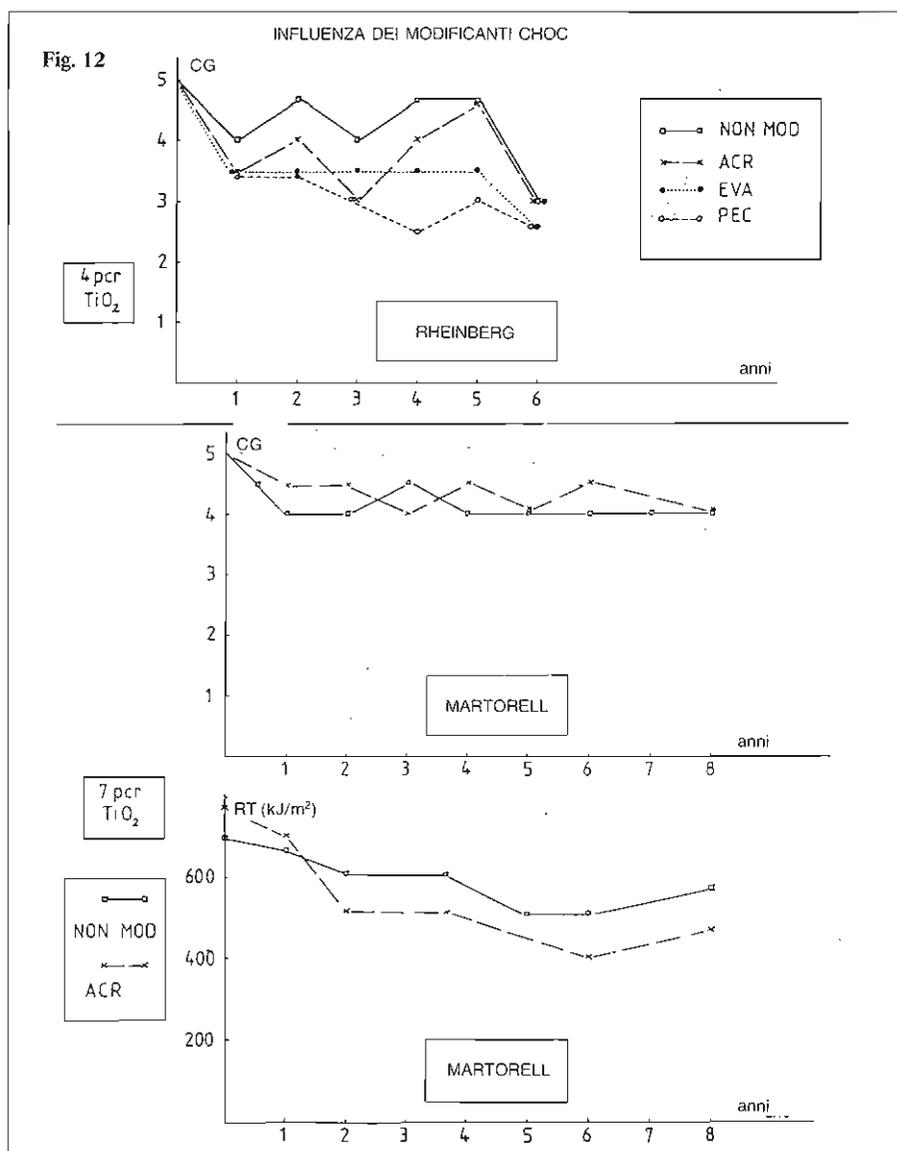
Il comportamento del PVC durante l'invecchiamento dipende fortemente dalle condizioni climatiche e dalla formulazione. Abbiamo mostrato che alcuni PVC, modificati o non modificati, adatti ad un clima temperato, non sono necessariamente utilizzabili in climi mediterranei. I climi molto caldi esigono prodotti speciali adatti a condizioni estreme di temperatura e di irraggiamento solare.

Per la tinta bianca, la Solvay può attualmente proporre delle formulazioni, modificate o non, che resistono a tutti i climi.

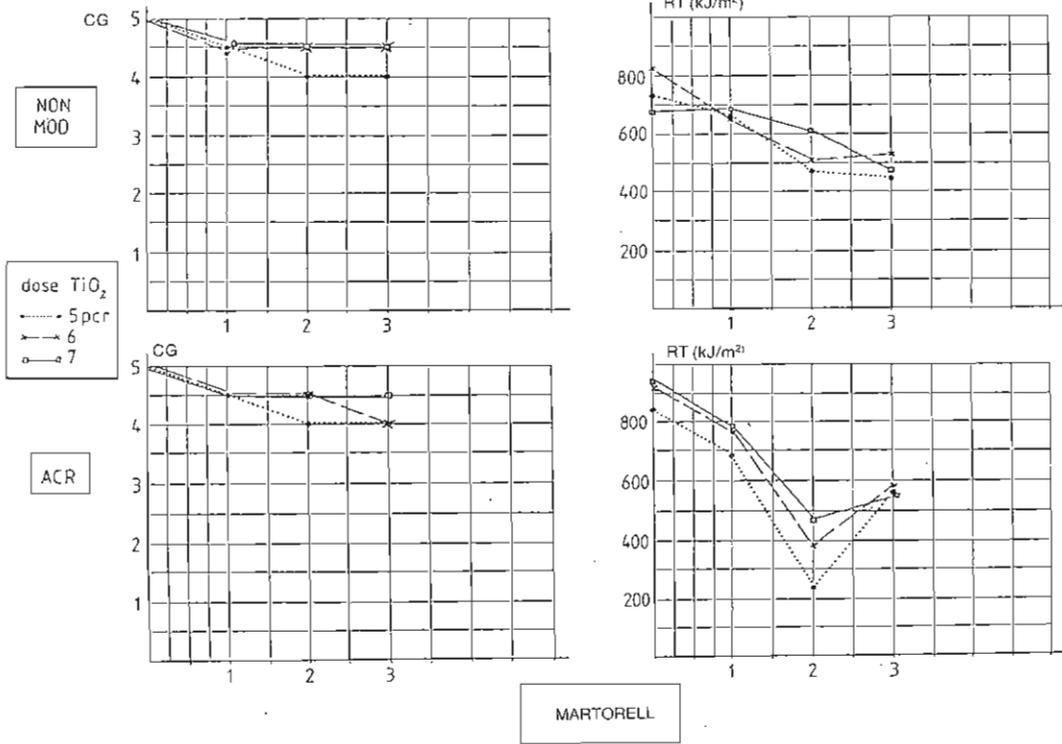
Per questi due tipi di prodotti si ha un'esperienza positiva di più di 20 anni in Germania ed in Belgio, e di 20 anni in Francia e 10 anni in Spagna ed in Italia per i prodotti non modificati.

Riferimenti

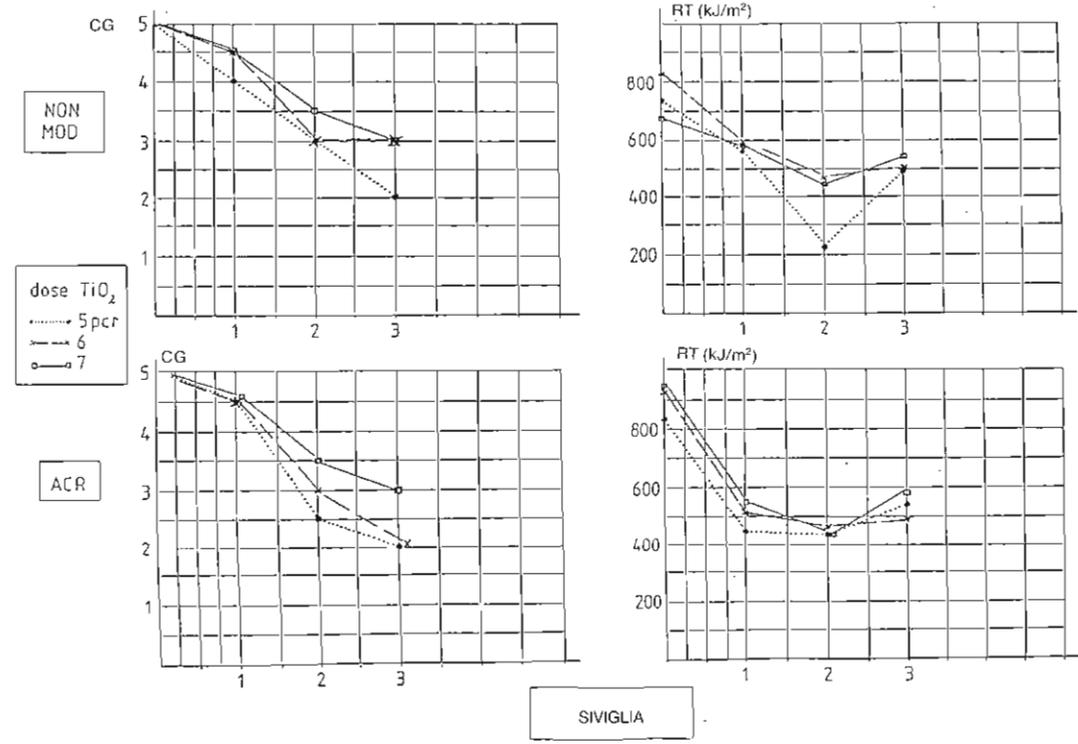
- 1) P. Trubirhoa (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung). «Der Einfluss der Luftfeuchte bei der Verfärbung von PVC während der Bewitterung und bei der anschließenden Dunkellagerung». Relazione presentata nel corso delle «Donaulandgespräche» 1987 Budapest.
- 2) R. Magnus: «Influence des conditions d'exposition et de la formulation sur le comportement au vieillissement lumineux du PVC rigide». Relazione presentata nel corso delle «Thèmes Journée d'Etude sur le Vieillessement des Polymères» a Bandol (settembre 1986).
- 3) J.W. Summers e E.B. Rabinovitch: «The chemical Mechanisms of Outdoor Weathering in PVC». Journal of Vinyl Technology 1983, vol. 5, p. 91.
- 4) C. Decker e M. Baladier: «Degradation of Poly (Vinyl Chloride) by UV Radiation». I - «Kinetics and Quantum Yields». European Polymer Journal 1982, vol. 18, p. 1085. II - «Mechanisms». European Polymer Journal 1984, vol. 20, p. 149.
- 5) A. Shaidle: «Compound Requirements for Vinyl Siding». Journal of Vinyl Technology 1979, vol. 1, p. 64.
- 6) D. Braun: «Recent Developments in Degradation and Stabilization». Pure and Applied Chemistry 1981, vol. 54, p. 549.
- 7) J.L. Gardette e J. Lemaire: «Acquis récents dans l'étude du photovieillessement du PVC». Caoutchoucs et Plastiques n. 672, ottobre 1987.



INFLUENZA DEI MODIFICANTI CHOC



INFLUENZA DEI MODIFICANTI CHOC



Documentazione sull'influenza degli agenti esterni su alcuni additivi per mescole a base di PVC

La formulazione delle mescole

Sappiamo tutti che i materiali plastici (m.p.) per essere lavorati e trasformati in manufatti richiedono normalmente l'additivazione di sostanze diverse che servono a diverse funzioni.

Nel caso del PVC, e del PVC per finestre in particolare, questi interventi sono particolarmente necessari. Il PVC destinato alla produzione di profilati per finestra deve essere additivato di certe sostanze che gli impartiscono stabilità termica, soprattutto per la fase di trasformazione, che lo stabilizzano verso le radiazioni UV durante l'esercizio, che deve durare per tempi se non uguali almeno dell'ordine di grandezza di quelli dell'edificio (alcune decine d'anni). Il PVC, inoltre, richiede l'aggiunta di ausiliari di lavorazione per migliorare il distacco fra massa fusa e pareti calde della macchina; di additivi atti a migliorarne la fluidità, lo scorrimento, favorendo la produttività in estrusione. Nel novero sono da citare anche i pigmenti e certe cariche minerali come il carbonato di calcio, destinato ad aumentare la rigidità e anche la resistenza all'urto, oltreché, spesso, a ridurne il costo. Infine, ma non meno importanti, sono da citare quelle particolari sostanze di natura elastomerica, che vengono aggiunte per correggere il comportamento fragile del PVC rigido soprattutto alle basse temperature.

Questi additivi, però, possono influenzare in senso positivo o negativo anche caratteristiche diverse da quelle per cui sono specificamente aggiunti. È questo il caso di certi fluidificanti, che possono migliorare la resistenza all'urto riducendo, magari, il modulo di elasticità (la rigidità); oppure è anche il caso dei pigmenti chiari (il rutile in particolare) che agiscono contemporaneamente da stabilizzanti alla luce; gli antiurtizzanti oltreché aumentare la tenacità del materiale ne deprimono la rigidità e, molto spesso, o quasi sempre, ne riducono la stabilità agli agenti atmosferici.

di

Sabino Leghissa

(Associazione Serramenti PVC - Milano)

La modificazione formulativa, dunque, del PVC per finestre è un processo di grande delicatezza tecnica, che deve essere effettuato con profonda competenza, pena il disastro qualitativo della produzione. Se la modifica delle m.p. con interventi formulativi è una preziosa prerogativa di questi materiali rispetto a quasi tutti gli altri materiali da costruzione, essa costituisce anche un pesante handicap se viene effettuata con incompetenza.

Le tecniche di additivazione

L'impiego del PVC in edilizia e in particolare nel settore degli infissi ha il merito di aver sollecitato una mole di studi di fisica dei materiali, di comportamento alle sollecitazioni degli agenti esterni e di reazione al fuoco, che non trova facilmente corrispondenza per altri materiali.

Le finestre di PVC, che la tecnica odierna permette di realizzare, hanno raggiunto livelli qualitativi, di funzionalità, di aspetto, di adeguatezza architettonica, estremamente avanzati. Questa positiva valutazione non va, però, presa in termini assoluti; essa deve essere mediata per quanto riguarda tipi di materiale, tempi di durata, condizioni e zone di esposizione. In altri termini, i manufatti vanno valutati sulla base di una certa fiducia nella serietà del loro produttore, devono essere certificati dalla disponibilità di un marchio di rispondenza e di un Agrément tecnico, e infine vanno applicati in zone geografiche per le quali sono stati studiati.

Una considerazione particolare in questo senso va fatta sui sistemi di antiurtizzazione del PVC. In questo settore negli ultimi anni si sono fatti progressi importanti: dai copolimeri elastomerici contenenti comonomeri insaturi, come il butadiene, dimostratisi

inadatti per la loro sensibilità degradativa, si è passati in successione alle tre famiglie del polietilene clorurato (CPE), dei copolimeri etilene-acetato di vinile (EVA) e infine dei tipi acrilici (A). Oggi la maggior parte delle produzioni di profilati di PVC rigido di tipo B (antiurto) sono realizzate, appunto, con impiego di sistemi acrilici (ca il 70%). Ma la tecnica ha adottato anche un altro procedimento: dal sistema di additivazione si è passati alla modifica in fase di polimerizzazione per innesto fra la macromolecola del PVC e il componente elastomerico (acrilico o EVA). L'innesto può effettuarsi fra il cloruro di vinile monomero e l'elastomero preformato o viceversa. In tal modo vengono risolti problemi connessi con l'esigenza di realizzare una dispersione fine dell'additivo nella massa del polimero, riducendo così anche le sollecitazioni mecano-termiche a cui esso dovrebbe essere assoggettato per assicurare una efficace miscelazione.

Condizioni per la durabilità dei profilati

Le formule di stabilizzazione sono di diversi tipi, che tuttavia possono riportarsi ai seguenti principali: stabilizzazione al piombo, al Bario-Cadmio, al Bario-Cadmio-Piombo, allo Stagno, presenti come derivati salini di acidi organici o organometallici.

L'invecchiamento di una finestra di PVC può riguardare diversi aspetti e dipendere da diverse cause: l'invecchiamento del materiale plastico come tale; la degradazione dei pigmenti; l'invecchiamento degli additivi di antiurtizzazione, quando presenti; la migrazione e il consumo dei sistemi stabilizzanti, ecc.

Le manifestazioni dell'invecchiamento possono riguardare l'aspetto superficiale come grado di liscio, brillantezza, colore, oppure le caratteristiche meccaniche come la resilienza, la resistenza a flessione, la rigidità, ecc.

È appena necessario osservare che i pigmenti organici o inorganici vanno scelti con particolare attenzione per quanto riguarda stabilità termica e agli agenti esterni, richiedendo anche le necessarie garanzie ai fornitori.

La pigmentazione

Una delle condizioni maggiormente influenti sul comportamento all'invecchiamento è rappresentata dal colore

del materiale, nel senso che le pigmentazioni chiare, i colori bianchi specialmente, riflettendo l'energia radiante, proteggono il materiale verso i fotoni direttamente incidenti e verso i livelli termici che si generano per interazione delle radiazioni di lunghezza d'onda maggiore con il materiale.

Per diversi anni i colori chiari sono stati gli unici accettabili negli infissi di PVC per esterni. La pigmentazione bianca, che ancor oggi copre circa

l'85% del mercato, deve, per ragioni di stabilità, essere realizzata con biossido di titanio, nella modificazione rutilo.

Spesso la carica pigmentaria, che non dovrebbe essere inferiore al 5 per cento (per cento parti di resina) è completata con una carica di carbonato di sodio di tipo particolarmente puro e micronizzato. I pigmenti di titanio, però, possono essere di molti tipi per forma e dimensioni cristalline, per processo di produzione, per sistema di stabilizzazione superficiale.

Il comportamento all'esterno dei profilati bianchi

Un quadro del comportamento del rutilo in profilati per finestre e di alcuni sistemi di stabilizzazione viene presentato in base ad una serie di risultati di esposizione all'esterno effettuata da una produttrice di biossido di titanio (Tioxide).

È comunemente riconosciuto che l'esposizione all'esterno in diverse zone climatiche è l'unico mezzo veramente indicativo della durabilità di un profilato di PVC. I sistemi di prova rapida in laboratorio devono essere considerati solo come indicativi in fase di studio, di controllo di produzione e di controlli fiscali.

Nelle formule usate per queste prove è stato adottato un PVC rigido, modificato con antiurtizzanti di natura acrilica; è stata impiegata una percentuale di rutilo di 4 per cento, che è inferiore a quella minima normalmente consigliata (≥ 5 per cento), fors'anche per aumentare e accelerare le differenze di comportamento fra tipi di rutilo messi a confronto.

Questi sono: un tipo da cloruro, a cristalli fini (G 22/38); uno da solfato, trattato in superficie con agenti organici non meglio precisati e specialmente adatto per impiego in materiali plastici (R-MC); un terzo tipo, da cloruro, per applicazioni «superdurabili» (R-TC 60).

I dati riportati sono stati da noi trasformati in ΔL e Δb , come variazioni, cioè, dei due parametri L e b rispetto al valore degli stessi rilevati sul materiale di partenza non esposto.

Vale la pena di ricordare che nel sistema C.I.E. «L» è il valore indicativo della chiarezza di tinta o biancore o anche del grado di grigio a seconda del punto di vista, espresso in scala

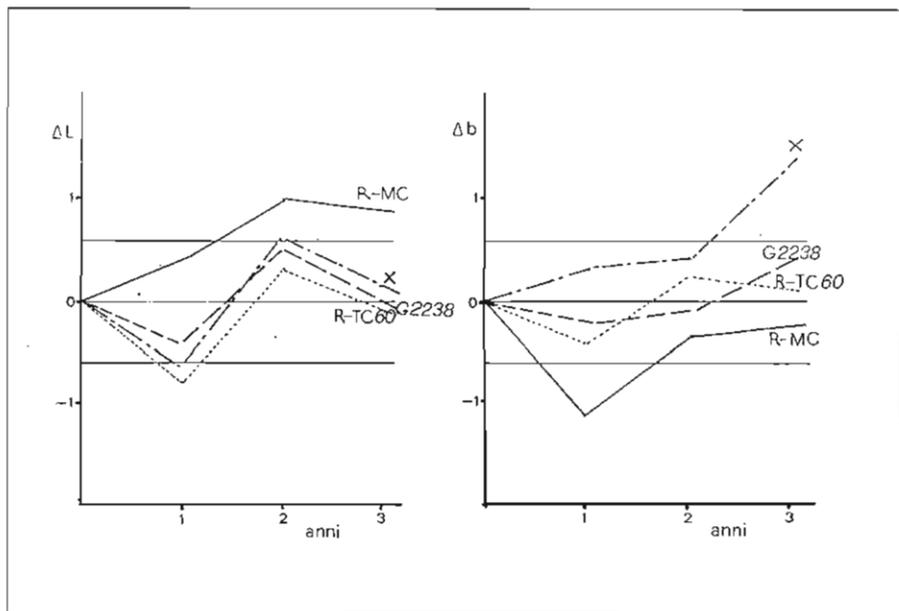


Fig. 1 - Stabilizzante Ba/Cd - Local.: Arizona.

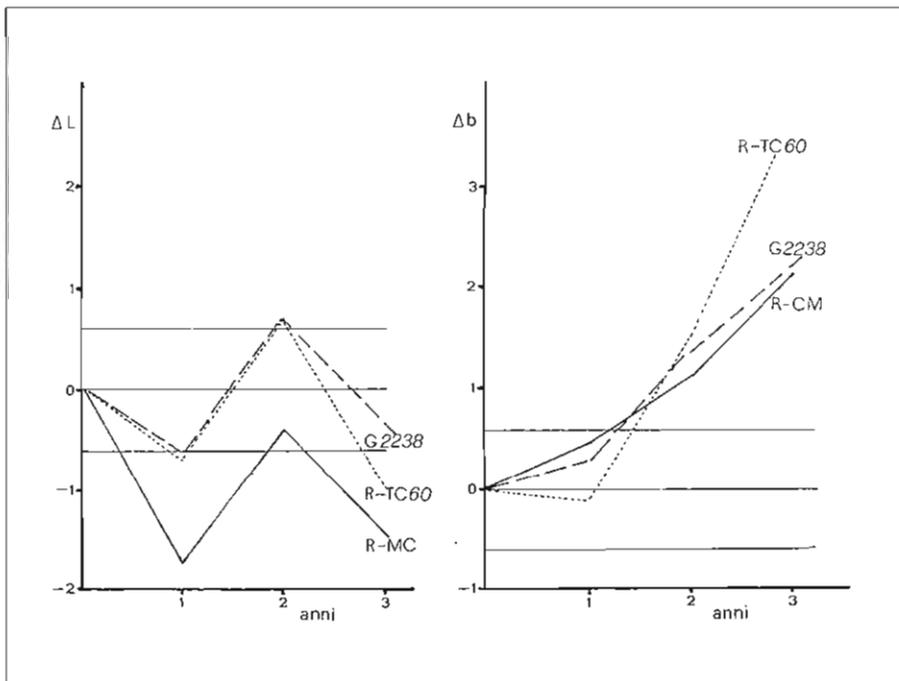


Fig. 2 - Stabilizzante Sn - Local.: Arizona.

centesimale da 0, indicativo del nero, a 100, indicativo del bianco dell'ossido di magnesio.

I valori di partenza del parametro «L» dei profilati oscillavano fra 94-95, tranne che per il campione con il tipo di rutilo concorrente preso a confronto (HpoX), che aveva valori di bianco più bassi (92 circa).

Il parametro «b», invece, è un indice del grado di giallo (se presenta valori positivi) o del grado di blu (se presenta valori negativi). Aumentando, cioè, i valori positivi di «b», si va verso sensazioni sempre più intense di giallo; aumentando in valore assoluto i valori negativi, si va verso sensazioni sempre più intense di blu.

Il quadro sarebbe più completo se si disponesse anche dei valori di «a» indicativi del grado di rosso (per «a» positivi) e del grado di verde («a» negativi).

Con tutti e tre i parametri (L, a e b) si sarebbe potuto avere un numero indicativo dell'entità complessiva della differenza di colore (ΔE), come vettore di spostamento, entro lo spazio dei colori, rispetto al colore di partenza, secondo la relazione

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

I diagrammi da 1 a 6 riportano le variazioni dei ΔL e Δb , avvenute nell'arco di un'esposizione di tre anni in tre diversi climi; nei diagrammi sono tracciate due rette parallele alle ascisse e simmetriche rispetto alla retta di $\Delta = 0$, che delimitano il campo di variazione, entro il quale un occhio non esercitato non rileverebbe sensibili differenze. Quel livello di insensibilità di un occhio non professionale si aggira sul valore di variazione, appunto di 0,6 dei suddetti parametri. Fuori da questa zona le variazioni, rispetto al campione di partenza, sono invece facilmente rilevabili dall'occhio umano anche non esercitato.

Dai dati disponibili si può osservare quanto segue.

1) Sui campioni esposti in Florida e in Arizona si rilevano chiare manifestazioni del fenomeno dell'invecchiamento a strati già descritto negli studi pubblicati dai tecnici della Solvay. L'invecchiamento a strati consiste in manifestazioni di imbrunimento superficiale, che con periodicità più o meno frequente spariscono per ridare l'aspetto bianco iniziale o prossimo a

quello. Le cause di queste alternanze risiedono in due meccanismi degradativi descritti dai ricercatori Solvay. Un processo degradativo provocato, soprattutto, dalla radiazione UV, ha come conseguenza un distacco di acido cloridrico dalla macromolecola del PVC con produzione di un doppio legame per ogni molecola di acido cloridrico. La successione alternata dei doppi legami (doppi legami coniugati) porta a colorazioni giallo-brune. Il se-

condo processo degradativo è successivo a questo e consiste in un attacco ossidativo sui doppi legami con rottura delle catene del polimero, con formazione di reticolazioni fra catene e liberazione di molecole di pochi atomi di carbonio di tipo ossidato, idrosolubili. La sparizione dei doppi legami per ossidazione annulla la colorazione brunastra del PVC; gli stati di reticolazione e la rottura delle macromolecole hanno come conseguenza la formazio-

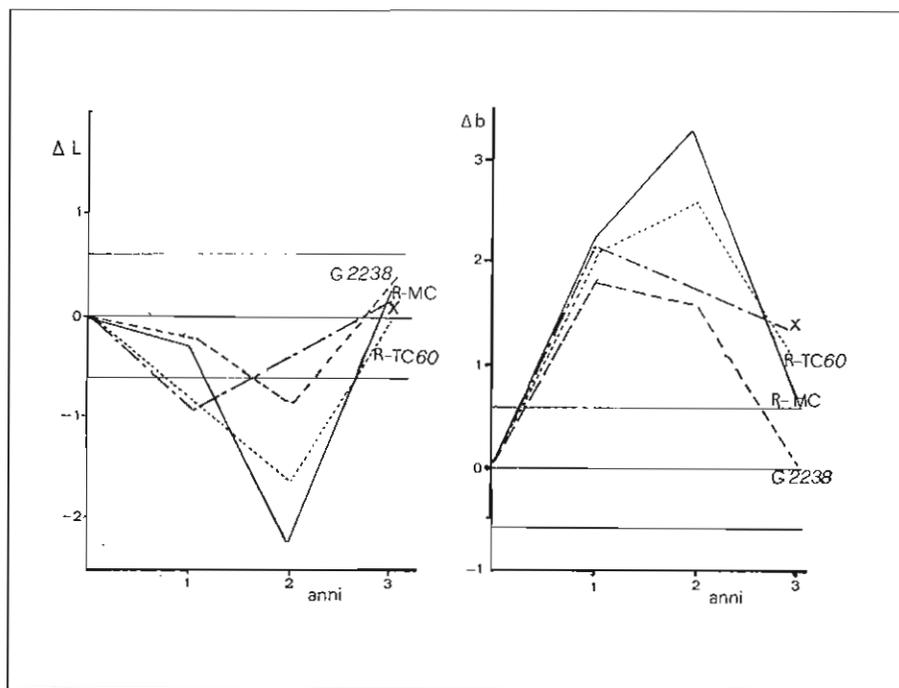


Fig. 3 - Stabilizzante Ba/Cd - Local: Florida.

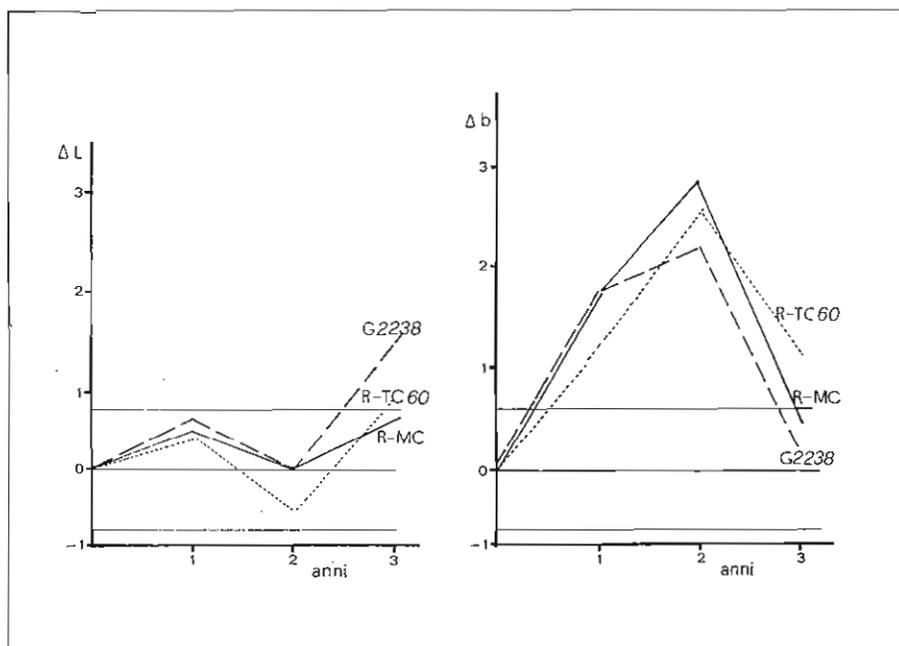


Fig. 4 - Stabilizzante Sn - Local: Florida.

ne di microfessurazioni con polverizzazione del materiale, che può essere facilmente asportato da un dilavamento, quando l'attacco è stato sufficientemente profondo.

L'alternanza di questi fenomeni costituisce, appunto, l'invecchiamento a strati con ricostituzione del colore iniziale e successivo nuovo attacco radiativo.

In zone climatiche ad attività radiativa molto intensa (Arizona e Florida) l'attacco di deidroclorurazione è molto forte ed è intenso anche il successivo stadio ossidativo; in climi caldi e piovosi (Florida) il dilavamento degli strati superficiali attaccati è rapido e le modifiche e ricostituzioni di colore sono più frequenti rispetto ai climi caldi e secchi, dove lo strato degradato non

viene asportato e continua a degradarsi in situ finché non avverrà il suo asporto per dilavamento. Questi comportamenti sono visibili nei diagrammi di Fig. 1-4. In Arizona (Fig. 1-2) l'ingiallimento si mantiene più a lungo rispetto a quanto avviene in Florida (Fig. 3-4), dove si hanno variazioni alternative meno intense della chiarezza e una sparizione completa del colore giallo al terzo anno di esposizione. In Arizona le variazioni del parametro L sono più pronunciate e il parametro b , dopo il terzo anno di esposizione, è ancora in aumento, non essendosi prodotto il completo dilavamento dello strato degradato.

2) Risultati un po' inattesi, per intensità, si sono avuti nei campioni esposti a Carlton (GB) (Fig. 5-6), dove l'attacco multistrato è stato, comunque, assente. In questa zona climatica (clima temperato-umido) l'irraggiamento UV non è tale da portare a forti degradazioni per deidroclorurazione; le microfessurazioni superficiali sono relativamente modeste, lo strato esterno non è tale da venir dilavato e l'imbrunimento può proseguire, soprattutto nelle stagioni calde, via via sommandosi. La variazione cromatica, così, diventa imponente ma la degradazione «materiale» non corrisponde a quella visiva. In questo clima il sistema stabilizzante Ba/Cd ha manifestato il comportamento peggiore.

3) Dei due sistemi di stabilizzazione presi qui in considerazione il sistema allo stagno (Sn maleato) si è comportato notevolmente meglio in Gran Bretagna, mentre in Florida e soprattutto in Arizona la sua efficienza è stata comparativamente molto minore.

4) Una variabilità di comportamento in funzione del clima di esposizione si è avuta anche per quanto riguarda i tipi di pigmento. I tipi 22/38 e R-MC sembrano, comunque, aver presentato i risultati migliori.

Da quanto riportato si può concludere, confermando analoghe risultanze di altre esperienze, che i pigmenti e le formule di stabilizzazione del PVC per finestre devono essere studiati per gli specifici climi. Comunque, questi dati non sono da considerarsi come quadro rappresentativo ottimale di ciò che è possibile aspettarsi dai profilati di PVC bianchi per finestra.

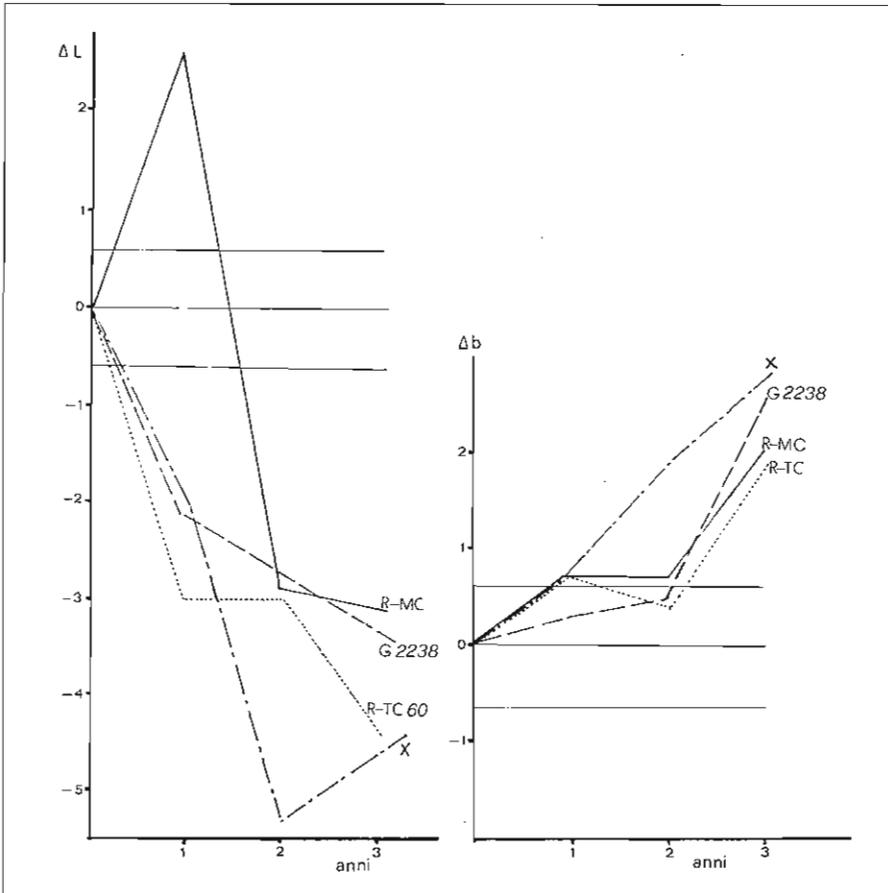


Fig. 5 - Stabilizzante Ba/Cd - Local: Carlton (G.B.).

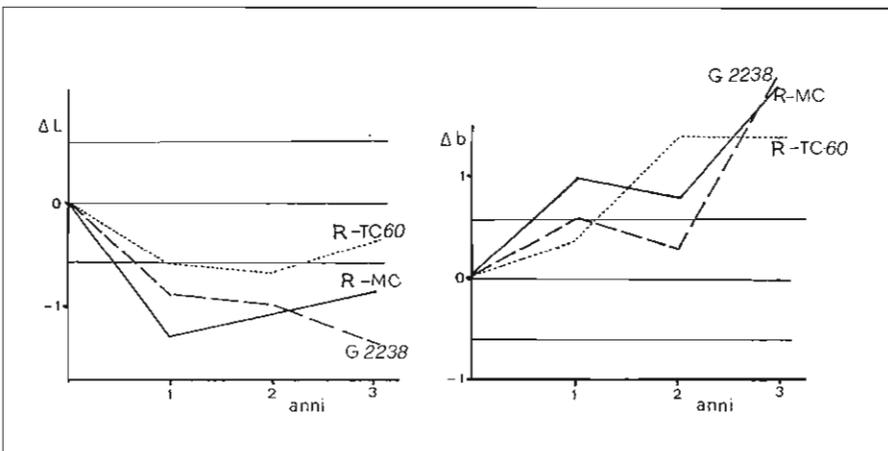


Fig. 6 - Stabilizzante Sn - Local: Carlton (G.B.).

Comportamento dei profilati di colore scuro

Se i pigmentati bianchi per esposizione all'esterno possono presentare ingiallimento e ingrigimento con manifestazioni di sfarinamento superficiale, nei pigmenti scuri (ad esempio bruni) in climi caldo-secchi il viraggio di colore risulterà, ovviamente, poco appariscente. In climi temperati-umidi si registrerà un attacco di deidroclorurazione più intenso che nei pigmentati bianchi e anche l'ossidazione sui siti di doppio legame sarà notevolmente attiva. Ne risulterà una manifestazione di microfessurazioni superficiali, che se non arrivano all'asportabilità, lasciano una patina biancastra con variazione

di colore molto evidente e con una apparenza di degradazione molto più intensa di quella registrabile in zone torride.

Questo effetto può essere notevolmente ridotto se in queste formulazioni non vengono impiegati pigmenti bianchi, come rutilo e carbonato di calcio, che sono le cause principali della patina biancastra. Questa patina, presente anche sui profilati di colore bianco, non è però rilevabile all'osservazione normale.

Le condizioni di lavorazione e la perfezione superficiale dell'estruso all'origine sono determinanti per minimizzare questi comportamenti.

Così una imperfetta dispersione del-

la fase elastomerica è anche causa per sua parte dell'aspetto di patina biancastra sui profilati di colore scuro.

Per concludere, e per correggere qualche errata eventuale impressione, che il dibattere sulla durabilità della finestra di PVC potrebbe aver indotto in questo uditorio, vorrei richiamare l'attenzione sui risultati che saranno presentati nell'ultima memoria di questo incontro. Se la tecnica di un ventennio addietro ha consentito i risultati positivi che ascolteremo, vuol dire che ci si può affidare con tutta sicurezza ai manufatti di oggi, che vengono realizzati sulla base di conoscenze e di progressi tecnici fortemente avanzati. ■

Stabilità dimensionale in esercizio dei serramenti PVC

Il serramento tradizionale

La prima parte di questo articolo è derivata dalla elaborazione dei dati raccolti da alcune interviste e discussioni condotte con operatori che, per interesse diretto od indiretto, sono a contatto con la problematica dei serramenti.

Quando si inizia a discutere di serramenti esterni ne scaturisce una convinzione molto radicata di «serramento tradizionale».

Il termine viene attribuito ad un prodotto ben specifico e definito e viene identificato solitamente con il serramento in alluminio od in legno.

Questo si determina in quanto chi opera la scelta, agisce in funzione della zona, dell'esperienza effettuata, dei consigli avuti e della tradizione.

La scelta tradizionale, non sempre confortata da risultati eccellenti, può essere superata con spirito innovativo orientandosi con fiducia al componente in PVC.

Risulta quindi naturale la risposta degli operatori del settore, i quali, dovendo offrire un prodotto utilizzato dal fornitore finale dell'edificio, propongono, nella quasi totalità dei casi, un componente considerato «sicuro».

Le motivazioni di scelta

Le motivazioni di base che fanno giungere ad una scelta per il serramento non sono di facile descrizione.

Vi sono meccanismi complessi che operano simultaneamente considerando i seguenti parametri:

Clima

I fattori più importanti sono considerati il caldo, il freddo ed il vento. I tre elementi contribuiscono a sollecitare in maniera gravosa la struttura geometrica del profilo e chimica del materiale.

Manutenzione

Elemento determinante che richiede sempre più attenzione da parte degli operatori in quanto gli utilizzatori

di Marco Piana

(Associazione Serramenti PVC - Milano)

oggi impongono una garanzia di resistenza nel tempo. Si tratta, cioè, di un parametro che peserà sempre di più nelle scelte future.

Materiale

Il materiale di cui è costituito il serramento viene giudicato «caldo» o «freddo» (leggi legno o alluminio) e quindi è determinante in alcuni utilizzi ove questa sensazione viene ad assumere un'importanza rilevante.

Sicurezza

La sicurezza è da intendere come esigenza prestazionale completa, soprattutto per quanto concerne il funzionamento nel tempo. Le caratteristiche che qualificano la sicurezza possono essere la deformabilità, la chiusura perfetta delle ante dopo numerosi cicli di apertura e chiusura.

Condensa superficiale

La sua presenza viene considerata un fattore negativo ed a tale proposito viene preferito il materiale legno od alluminio con caratteristiche particolari.

La funzionalità

Riveste il ruolo predominante nello scenario delle scelte che portano alle decisioni di un prodotto quale il serramento.

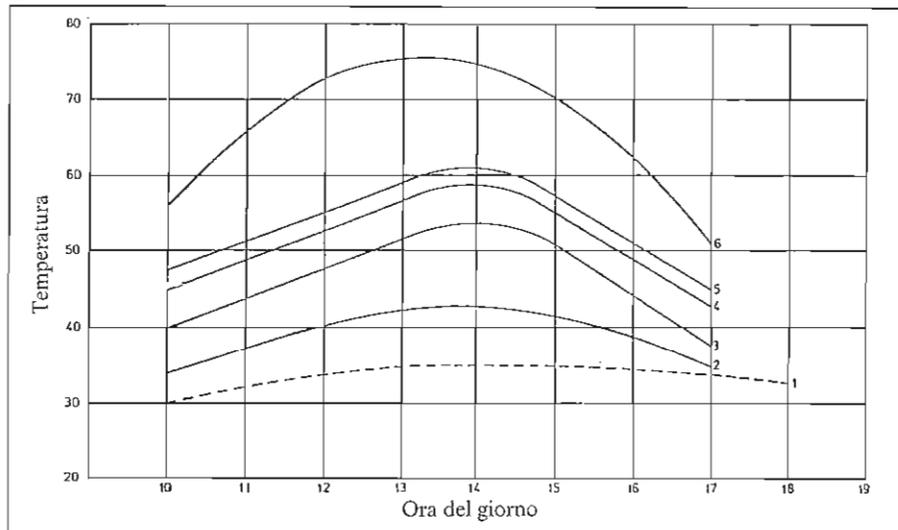
Nella maggioranza dei casi la sicurezza del funzionamento scaturisce da sensazioni ragionate piuttosto che da dati ragionevolmente elaborati.

Questa sostanziale differenza fra ciò che risulta e ciò che sarebbe auspicabile, porta alla definizione sommaria dei tre più diffusi materiali per serramenti:

Alluminio - Materiale freddo: più sicuro; *Legno* - Materiale caldo: si deforma; si deve riverniciare; *PVC* - «Non si sa, ma è un materiale plastico e quindi avrà sicuramente qualche difetto».

Solamente dopo copiose ed inebrianti discussioni con gli interlocutori

Fig. 1 - Temperature superfici di lastre di 3 mm di spessore esposte ad inclinazione in una giornata d'estate in ambiente non ventilato.

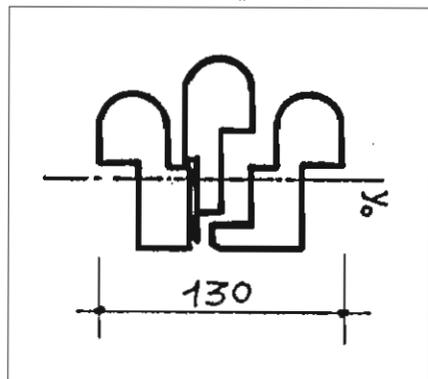


1 = Temperatura aria
2 = Colore bianco

3 = Imitazione legno
4 = Grigio chiaro

5 = imitazione legno scuro
6 = Nero

Fig. 2 - Sezione di profilo in PVC che presenta un momento di inerzia pari a $J = 189 \text{ cm}^4$.



si giunge a definire che cosa realmente racchiuda la definizione «sicurezza di funzionamento» che con una differente prospettiva si potrebbe condensare in «stabilità dimensionale».

La stabilità dimensionale, a sua volta, è funzione di numerosi parametri che nel caso in esame vengono di seguito approfonditi in modo da eliminare ogni dubbio in merito al materiale PVC.

Il serramento in PVC

Il serramento in PVC, se conosciuto in tutte le differenti sfaccettature e caratteristiche, può trasformarsi in un «serramento tradizionale» creando quella sicurezza che deriva, nella maggioranza dei casi, da un consapevole uso dei sistemi più conosciuti.

A dimostrazione di tale affermazione si riportano i valori sperimentali delle caratteristiche più interessanti.

- Modulo elastico in flessione: $\sim 30.000 \text{ kg/cm}^2$.
- Coefficiente di dilatazione termica: $\sim 5 \times 10^{-3} \text{ m}^\circ\text{C}^{-1}$.
- Variazione dimensionale per $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ e 2 m di lunghezza del profilo: $\sim 1,5 \text{ mm}$.
- Conducibilità termica: $0,15 \text{ W/mK}$.
- Temperatura di rammollimento: $> 80^\circ\text{C}$.
- Resistenza alla trazione, carico snervamento: $> 450 \text{ Kg/cm}^2$.

I dati sopra riportati sono riferiti a temperatura ambiente con materiali non invecchiati.

La stabilità dimensionale in esercizio dei serramenti si deduce dai dati sopra e qui di seguito riportati.

Come prima considerazione si deve sottolineare l'enorme importanza che il colore riveste nei serramenti in PVC.

Come dimostrazione si riporta il grafico di fig. 1 in cui si evidenziano le temperature superficiali di profili in PVC aventi differenti colori.

La soglia di temperatura viene posta pari a 60°C e quindi si sconsigliano i colori molto scuri se non in particolari zone climatiche favorevoli.

Per le rimanenti tinte si può considerare una temperatura media limite di circa 50°C che, confrontata con una temperatura ambiente invernale di circa 20°C , provoca una differenza pari a $\Delta T = 30^\circ\text{C}$.

Alle temperature di 20°C e 50°C si ottengono i risultati riportati nella tabella 1.

Tab 1

	20°C	50°C
Modulo elastico Kg/cm^2	30.000	25.000
Carico snervamento Kg/cm^2	480	300

Un altro dato significativo è rappresentato dalle curve di Creep.

Queste mettono in relazione la deformazione (in percentuale) che il materiale presenta quando viene sottoposto ad una sollecitazione, per un tempo ed a temperatura costante.

Nel nostro caso osserviamo la tab. 2.

Tab. 2

Sollecitazione kg/cm^2	Durata (ore)	Deformazione %
100	200	0,25
200	200	0,75
300	200	1,25
400	200	2,00

Questi sono i dati che vengono ad essere considerati nel calcolo strutturale di un telaio in PVC.

Naturalmente il profilo in PVC può essere (e solitamente accade) rinforzato da un semplice profilo metallico che contribuisce ad aumentare la solidità, particolarmente per dimensioni molto elevate.

La forma geometrica determina in

modo inequivocabile la resistenza, la stabilità dell'intero telaio.

Infatti oggi sul mercato possiamo trovare geometrie molto particolari con momenti di inerzia (J) tanto elevati da permettere che il telaio possa garantire altezze di 3,00 m.

Un esempio può essere quello schematizzato in fig. 2 con $J = 189 \text{ cm}^4$.

Naturalmente la stabilità viene garantita anche dalle singolari proprietà che il PVC dimostra di possedere ormai da decine di anni verso gli agenti chimici contenuti nell'atmosfera e nelle piogge.

Acidi, detersivi, non intaccano la struttura chimica mantenendo così inalterate le caratteristiche fisico-mecchaniche.

Per completezza di trattazione si devono riportare le sollecitazioni più importanti a cui un serramento viene ad essere sottoposto, che possono essere così riassunte: vento; urti; temperatura; raggi ultravioletti; cicli di apertura e chiusura e le loro diverse combinazioni.

Le sollecitazioni vento, urti e cicli di apertura e chiusura vengono affrontati con una progettazione affidabile utilizzando le caratteristiche reali del materiale.

La corretta progettazione sfortunatamente richiede notevole esperienza e conoscenza del materiale plastico e delle geometrie applicabili. Per questo motivo esistono serramenti in grado di soddisfare pienamente le esigenze più severe e disparate, ma possono anche dimostrare effettive carenze qualora non vengano rispettate le regole basilari.

La temperatura provoca nel componente dilatazioni e contrazioni prolungate o cicliche. Anche in questo caso la progettazione è rivolta ad una razionalizzazione della geometria del profilo in funzione delle dimensioni del serramento. Un ruolo molto importante è rappresentato dagli elementi complementari riconoscibili nelle guarnizioni, cerniere ed organi di ancoraggio.

Un secondo effetto importante è rappresentato dalla temperatura superficiale interna che ne definisce la relativa temperatura radiante e la temperatura di condensa.

Per quest'ultimo problema si può

affermare che il materiale PVC, per la propria conducibilità termica e per la forma geometrica del profilo a pluricamere, impedisce la formazione della condensa nelle situazioni fino ad ora riscontrate. L'azione dei raggi ultravioletti viene vanificata da additivi introdotti nella miscela del materiale in modo da renderlo refrattario a tale sollecitazione.

Ogni singola sollecitazione provoca, nel materiale di cui è costituito il serramento, sollecitazioni complesse che debbono essere confrontate, caso per caso, con i dati riportati in precedenza e con i risultati sperimentali ottenuti

sottoponendo i componenti a prove severe e differenziate.

Conclusioni

I serramenti in PVC vengono sottoposti ad una completa caratterizzazione di tipo sperimentale.

Le normative seguite sono usualmente le direttive UEAtc e le norme UNI che permettono di prevedere, certificandone i risultati, il comportamento in opera.

Le conclusioni sono quindi riassumibili in una singola affermazione: si-

curezza sperimentale di buon funzionamento.

Inoltre, tutto ciò viene ad essere consolidato dagli stessi serramenti che da anni ormai svolgono, con piena soddisfazione degli utilizzatori, la loro funzione.

Rimane un'ultima considerazione in merito alla scelta del serramento in PVC da parte dei progettisti o costruttori.

La scelta, a favore di questo componente, deve essere supportata dalla capacità di proporre un'innovazione tecnologica e non solo formale come usualmente accade. ■

La resistenza all'esterno dei serramenti in PVC: documentazione di test su serramenti in opera

Da oltre 30 anni il PVC rigido viene impiegato nelle prove agli agenti atmosferici naturali e assoggettato alle più svariate sollecitazioni. Le esperienze fino ad oggi acquisite stanno a dimostrare che il materiale PVC rigido ha fornito risultati eccellenti in questo campo d'impiego.

Il campo d'impiego più esigente per PVC rigido è senza alcun dubbio quello delle finestre realizzate con profilati di PVC rigido modificato antiurto. Si rende pertanto necessario porre la massima cura — come in effetti avviene — sia nella realizzazione dei profilati e delle finestre, sia nell'incorporamento degli stessi nella costruzione. Ai fini della sicurezza qualitativa di queste finestre, sono state emanate nella Rep. Fed. di Germania, nella maggior parte dei Paesi europei, negli Stati Uniti ed in Canada norme e rispettivamente direttive attinenti alla qualità, con le relative esigenze poste su scala nazionale alle masse da stampaggio di PVC rigido, ai profilati ed alle finestre (fig. 1).

Queste direttive descrivono le esigenze minime che si pongono alle masse da stampaggio da impiegare per la realizzazione dei profilati per finestre, le proprietà dei profilati aventi rilevanza ai fini della lavorazione successiva in finestre ed i requisiti che vengono imposti alle finestre realizzate con questi profilati. Vengono inoltre regolamentate sia la vigilanza interna che quella esterna durante la fabbricazione sia dei profilati che delle finestre.

Queste norme e direttive assicurano la realizzazione ed il montaggio di finestre di PVC qualitativamente perfette. La migliore dimostrazione di quelli che sono i vantaggi tecnici ed economici offerti dalla finestra di PVC in costruzioni vecchie e nuove discende dal fatto che nella Rep. Fed. di Germania essa ha raggiunto una quota di partecipazione al mercato del 50% circa (fig. 2). A questo successo ha potuto essere conseguito anche grazie alla sicurezza qualitativa della finestra di PVC.

di

Eckhard Röhr

(BASF, Aktiengesellschaft Aweta Thermoplaste, Ludwigshafen)

Oggi possiamo guardare indietro a 25 anni di risultati soddisfacenti della finestra di PVC. Naturalmente ci si poneva di tanto in tanto il quesito in merito ai cambiamenti che di fatto si verificavano nella finestra di PVC attraverso i decenni, dopo lunghi anni di esposizione agli agenti atmosferici.

Nella letteratura tecnica si è scritto ripetutamente sul comportamento dei profilati per finestre e delle finestre stesse di PVC rigido con l'esposizione agli agenti atmosferici. 1 - 4.

Si sa per certo che il profilato per finestre di PVC esposto agli agenti atmosferici naturali non richiede alcuna manutenzione, ma la richiede l'elemento strutturale finestra. Stando alle esperienze sin qui acquisite, comunque, ci si può attendere che, con una corretta manutenzione, l'elemento strutturale finestra eserciterà perfettamente la sua funzione per molti decenni. Per manutenzione ovvero cura devono qui significare:

- regolare controllo e cura di guarnizioni e guarniture;
- controllo del cosiddetto terzo piano di guarnizioni, della impermeabilizzazione tra telaio della finestra e la costruzione;

Fig. 1 - Direttive e rispettivamente norme qualitative con esigenze poste alla massa da stampaggio, al profilato ed alla finestra.

Rep. Fed. Germania

RAL-RG 716/1: Kunststoff-Fenster Gütesicherung.

Francia

Avis Technique Marque PF.

Gran Bretagna

The British Plastics Federation Specification for High impact uPVC Extruded Hollow Profile Section Fabricated Windows and uPVC Encapsulated Unbonded Timber Windows.

Italia

Norma UNI 8648, progetto 393.

Olanda

NEN 7034: NEN 3664.

Belgio

STS 52 Menuiseries Exterieures en PVC; UBAtc-Agrément.

Spagna

UNE 53-360-79.

Austria

Gütevorschriften für Fensterprofile aus PVC-U weiß.

Svezia

SPF Verksnorm 3000.

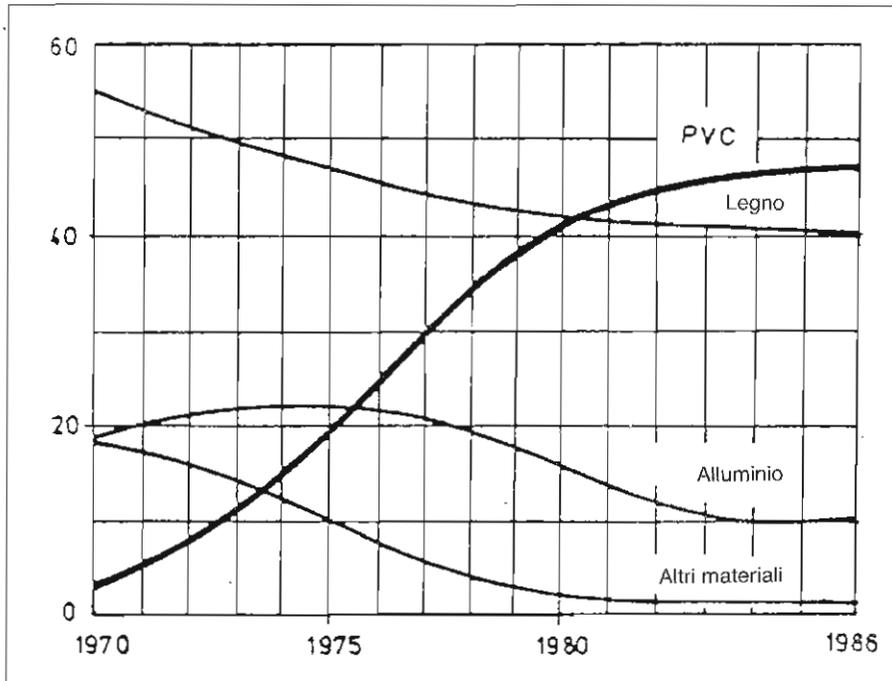
Stati Uniti

ASTM Draft: White Rigid Poly Vinyl Chloride (PVC) Windows.

Canada

CSA standard A 274-M 1980 Vinyl Windows.

Fig. 2 - Materiali per profilati per finestre nella Rep. Fed. di Germania in % (situazione 11/86).



— pulitura dei vetri e dei profilati con acqua, quando se ne manifesti la necessità.

Ciò nondimeno, non esiste alcun materiale che sia assolutamente stabile agli agenti atmosferici. Quando le conseguenze della esposizione agli agenti atmosferici diventano visibili o

misurabili, allora è solo una questione di tempo. Per quanto riguarda il vetro, si va avanti per molti decenni, nel legno l'influenza dei predetti agenti può venire constatata dopo alcune settimane o dopo anni, a seconda del pretrattamento che esso ha ricevuto, con cartone oppure carta bastano anche poche ore e sull'acciaio può formarsi la

ruggine già durante una notte, a meno che non si sia proceduto ad un trattamento.

Il quesito va quindi posto in termini più esatti: fino a che punto gli agenti atmosferici esercitano la loro influenza e su quali proprietà del materiale.

Per quanto riguarda il profilato per finestre di PVC questo quesito può venire ulteriormente suddiviso, facendo distinzione tra il cambiamento delle proprietà fisico-meccaniche ed il cambiamento dell'aspetto dei profilati (stato superficiale).

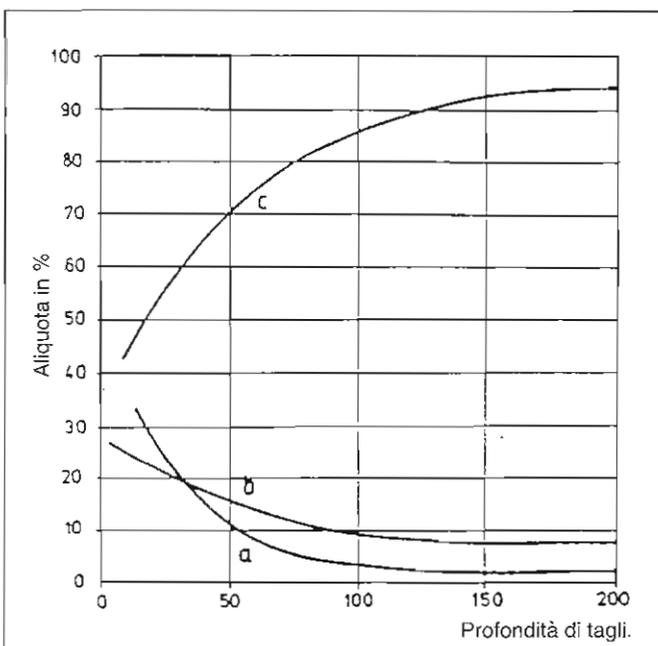
Le proprietà meccaniche più importanti dei profilati per finestre possono venire descritte alla luce del modulo E, del comportamento nella prova di trazione e della tenacità.

Lo stato superficiale può venire descritto sostanzialmente con riferimento al valore massimo della rugosità ed al colore.

Prima di occuparci dei risultati delle analisi attinenti a questi due quesiti (proprietà meccaniche e stato superficiale), dobbiamo passare a trattare dapprima i processi chimici che si verificano durante l'esposizione di profilati di PVC rigido agli agenti atmosferici.

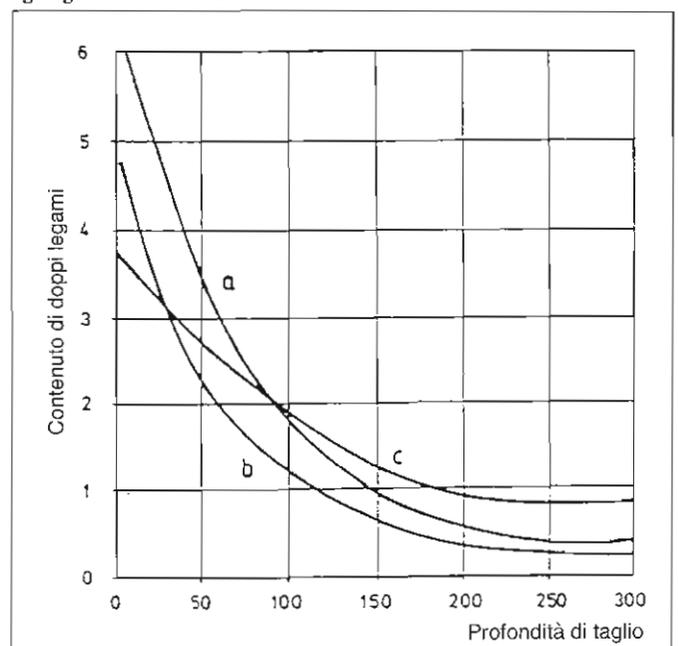
Per esposizione agli agenti atmosferici si devono intendere tutte le influenze esercitate dalla luce (visibile e invisibile), dalla temperatura, dal-

Fig. 3 - Solubilità del PVC dopo 15 anni di esposizione agli agenti atmosferici.



a: insolubile; b: solubile, con CH_3OH non precipitabile; c: come prima, precipitabile con CH_3OH ;

Fig. 4 - Cambiamento chimico del PVC dopo 15 anni di esposizione agli agenti atmosferici.



a: gruppi $\text{C}=\text{O}$ su ogni 1000 atomi C (1725 cm^{-1}), b: gruppi $\text{C}=\text{O}$ su ogni 1000 atomi C (1705 cm^{-1}), c: gruppi $\text{C}=\text{C}$ su ogni 1000 atomi C

l'umidità e dalle sostanze presenti nell'aria.

1. Mutamenti chimici di profilati di PVC esposti agli agenti atmosferici

Da analisi condotte nel 1978 (2) è risultato che quanto avviene effettivamente durante l'esposizione agli agenti atmosferici di profilati di PVC può venire descritto nel modo più semplice con i cosiddetti metodi classici di prova.

1.1 Frazionamento con solventi

Con questo metodo vengono determinate l'aliquota solubile e rispettivamente non solubile della superficie più esterna, cominciando gradualmente fino ad una profondità che non è stata più chimicamente cambiata dagli agenti atmosferici (fig. 3).

L'aliquota insolubile (pigmento, PVC reticolato, sudiciume) in cloruro di metilene, che è un buon solvente per PVC, va nettamente diminuendo dall'esterno verso l'interno (curva a). L'aliquota solubile in metanolo (un cattivo solvente per PVC) va diminuendo anch'essa dall'esterno verso l'interno. Trattasi qui sostanzialmente di residui di stabilizzatore, ausiliari di lavorazione e soprattutto di PVC a basso peso molecolare prodotto dagli agenti atmosferici (curva b). L'aliquota precipitabile con metanolo dalla soluzione di cloruro di metilene (curva c), cioè il PVC intatto, praticamente immutato, aumenta nettamente dall'esterno verso l'interno. Tutte e tre le curve si orientano verso l'interno tra la profondità di taglio da 100 fino a 200 microns ad un livello costante. Questo significa, cioè, che l'influenza degli agenti atmosferici determinabile con questo metodo termina già alla fine di una profondità di taglio di circa 150 microns.

1.2 Determinazione dei doppi legami C=C e C=O

Con questo metodo viene rilevata, mediante speciali procedimenti chimici e fisici, il quantitativo dei doppi legami C=C e C=O prodotti dalle influenze atmosferiche, in funzione della profondità di taglio (figura 4).

Il contenuto di doppi legami C=O (determinato secondo due metodi) va nettamente diminuendo verso l'interno. Altrettanto deve dirsi per il numero dei doppi legami C=C. A circa 200 microns, tutte e tre le curve si orientano verso l'interno ad un livello costante.

te, vale a dire che a partire da questo punto trovasi soltanto PVC intatto, cioè non danneggiato dagli agenti atmosferici.

1.3 Stabilità residua

Un ulteriore criterio di valutazione per la capacità di resistenza del PVC alla sollecitazione degli agenti atmosferici è costituito dalla cosiddetta stabilità residua, che viene determinata in un forno ad armadio a 180 °C, secondo la Norma DIN 53-381. Per poter valutare l'influenza esercitata dalla esposizione agli agenti atmosferici, è stata determinata e confrontata la stabilità residua su campioni prelevati dal lato esposto e dal lato interno di profilati di una finestra esposta per 15 anni agli agenti atmosferici (vedi punto 2). Sul lato interno non esposto agli agenti atmosferici la stabilità interna risultava di 111 minuti, quella sul lato del profilato esposto era di 94 minuti. La diminuzione della stabilità residua sul lato del profilato esposto va attribuita esclusivamente alla influenza di uno strato sottile danneggiato dagli agenti atmosferici. Con la asportazione di questo strato in tagli rispettivamente di 30 microns, si può dimostrare, alla luce della stabilità residua di questi strati asportati, che già ad una profondità di 120 microns viene misurato un tempo costante di stabilità e che quindi non si manifesta più alcun danneggiamento del materiale dovuto alla sollecitazione da agenti atmosferici.

1.4 Conclusioni

Il cambiamento chimicamente determinabile di profilati di PVC esposti agli agenti atmosferici termina ad una profondità di 120-200 microns, misurata a partire dalla superficie.

2. Cambiamenti fisico-meccanici e visivi in profilati di PVC esposti agli agenti atmosferici

Finestre con telai di PVC/A (vinidur) sono tenuti da circa 18 anni sotto osservazione ad intervalli regolari.

Da esami visivamente condotti è risultato che tali finestre erano ancora perfettamente funzionali, senza dare motivo ad alcuna contestazione. Le superfici dei profilati apparivano lisce e si prestavano ad una agevole pulitura. I profilati bianchi non manifestavano nessuno scolorimento degno di rilievo. Quelli di colore scuro presentavano naturalmente uno schiarimento di tinta sul lato esposto agli agenti atmosferici.

2.1 Oggetto e fondamento della prova

Per il controllo delle proprietà del materiale, sono state smontate finestre esposte agli agenti atmosferici per 7 e 15 anni, allo scopo di esaminare ritagli di profilati e campioni di materiale. Queste analisi sono state effettuate in conformità delle «Disposizioni relative alla qualità ed alla prova di profilati per finestre di materia plastica e di finestre in plastica RAL/RG 716/1».

La osservanza dei requisiti stabiliti

Fig. 5 - Stabilità residua in funzione della profondità di taglio.

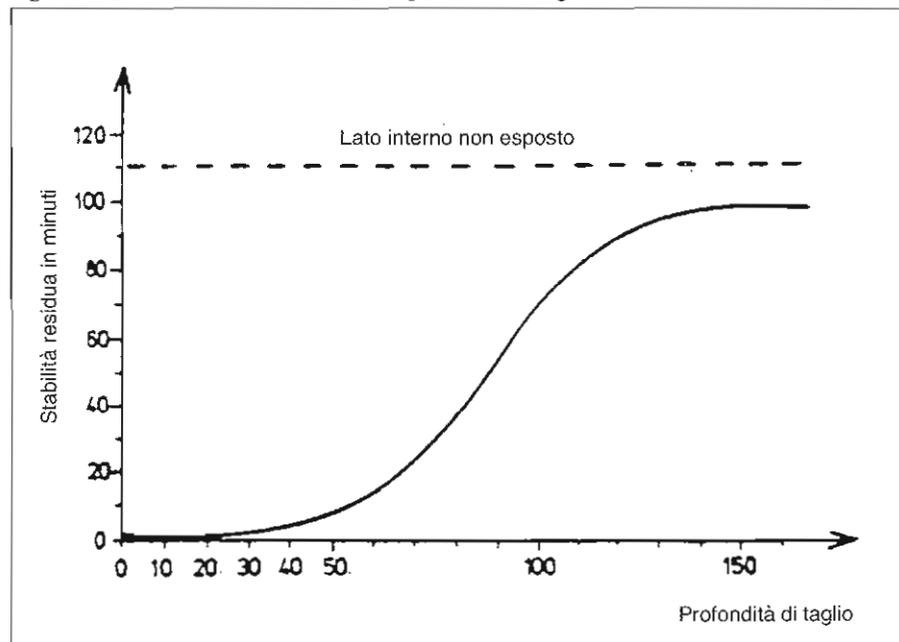


Fig. 6 - Risultati delle prove condotte su finestre di PVC/A esposte agli agenti atmosferici per 8 e 15 anni.

		Dopo 8 anni		Dopo 15 anni	
		Lato interno	Lato esterno	Lato interno	Lato esterno
<i>Resistenza meccanica</i>					
Carico di snervamento secondo DIN 53455	N/mm ²	41	46	47	46
Resistenza a rottura secondo DIN 53455	N/mm ²	31	32	32	33
Allungamento sotto carico di snervamento	%	3	3	4,3	4,4
Modulo E nella prova di traz. DIN 53457	N/mm ²	2960	2870	3020	3100
<i>Resistenza all'urto</i>					
Prova d'urto sotto flessione DIN 53753 ⁽¹⁾					
Urto su lato esterno del profilato	kJ/m ²	22	20	23	21
Urto su lato interno del profilato	kJ/m ²	20	17	21	16
<i>Variatione dimensionale dopo invecchiamento artificiale</i> ⁽²⁾	%	1,0	1,0-1,2	1,2	1,2
<i>Scolorimento da esposizione agli agenti atmosferici secondo la scala tessile dei grigi</i>	differenza dall'originale in gradi	4-5	3-4	4-5	3

(1) Intaglio a doppia V, r = 0,1 mm, temperatura di prova + 23 °C.

(2) Accorciamento dei profilati, misurato dopo 1 ora di invecchiamento artificiale a 100 °C.

in queste disposizioni RAL costituisce il presupposto per il conferimento del marchio di qualità per nuovi sistemi di profilati per finestre.

Le finestre da controllare, delle dimensioni di circa 1 mq, sono state smontate nella primavera del 1975 e del 1983 dal lato sudovest di un edificio per uffici. Queste finestre erano state montate nell'anno 1968. Il colore dei profilati dell'infisso e del battente ribaltabile è antracite.

2.2 Controlli effettuati

Prima di segare a pezzi il telaio ed il battente per ricavarne i campioni per le analisi previste, sono state esaminate la permeabilità dei giunti e la sicurezza alla pioggia battente, secondo la Norma DIN 18 055. Nell'anno 1968 questa norma non esisteva ancora, per cui non sono disponibili valori di partenza. Né queste finestre sono state costruite nella osservanza dei requisiti stabiliti in materia.

Dalla prova di sicurezza alla pioggia battente è emerso che le finestre soddisfacevano i requisiti relativi al gruppo di sollecitazioni A. Per quanto

riguarda la permeabilità dei giunti, le finestre raggiungevano il gruppo di sollecitazioni C. Ad ogni modo si sono dovute inoltre restaurare le guarnizioni esterne nel telaio.

Sebbene il materiale a disposizione non fosse sufficiente per eseguire tutti i controlli previsti dalle disposizioni RAL, questi sono stati tuttavia completati con opportune analisi condotte su campioni più piccoli. Altri esami esulavano dalle esigenze poste dalle disposizioni RAL. I risultati di questi controlli sono riepilogati nelle figure 6 e 7.

Nella figura 6 sono definiti «esterni» i lati delle finestre che si trovavano sulla parte esterna dell'edificio, mentre gli «interni» sono i lati rivolti verso l'interno dell'edificio. I valori riscontrati durante i controlli eseguiti sul lato interno dei profilati possono essere ritenuti quasi come valori di partenza per il materiale non esposto agli agenti atmosferici. Nel confronto con questi valori si possono stabilire i cambiamenti intervenuti ad opera della esposizione agli agenti atmosferici.

Resistenze meccaniche

Allo scopo di constatare il comportamento di resistenza e di deformazione di PVC/A esposto agli agenti atmosferici, sono stati prelevati campioni da profilati smontati ed esaminati in conformità delle Norme DIN in vigore.

Ne sono risultati soltanto valori di misura che si differenziano in misura irrilevante l'uno dall'altro, in funzione della posizione dei campioni nei profilati e della loro età. I moduli di elasticità non rivelano che differenze assolutamente irrilevanti.

Resistenza all'urto

Per la determinazione della resistenza all'urto, le disposizioni RAL prescrivono la prova di caduta spinotto.

Poiché a motivo delle dimensioni delle finestre non erano disponibili ritagli di profilati nel numero e nelle dimensioni sufficienti per questa prova, la resistenza all'urto è stata misurata nella prova ad urto sotto flessione su provini intagliati, secondo la Norma DIN 53 753.

Se l'urto viene esercitato sul lato esposto agli agenti atmosferici — il che corrisponde alla sollecitazione nella pratica — i valori misurati non indicano che una scarsa influenza da parte degli agenti atmosferici. Persino con l'urto esercitato sul lato interno non esposto del profilato, nel quale il lato esterno esposto è il lato sotto trazione, per il materiale assoggettato per 15 anni agli agenti atmosferici naturali risulta ancora la ragguardevole resistenza all'urto di 16 kJ/mq.

Variatione dimensionale dopo l'invecchiamento artificiale

L'orientamento del materiale introdotto nella estrusione di profilati per finestre determina con il successivo riscaldamento la contrazione dei profilati. Secondo le disposizioni RAL, dopo un'ora d'invecchiamento artificiale a 100 °C il ritiro dei profilati non deve essere maggiore del 2%.

Secondo il medesimo procedimento è stato misurato anche il ritiro dei profilati per finestre di PVC/A esposti agli agenti atmosferici. Il valore massimo consentito del 2% non è stato raggiunto. Poiché i valori di ritiro misurati ricorrono anche per i profilati non assoggettati agli agenti atmosferici, si

Fig. 7 - Resistenza d'angolo misurata su finestra di PVC/A esposte per lunghi anni agli agenti atmosferici.

	Resistenza d'angolo dell'infisso		Resistenza d'angolo del battente	
	Carico di rottura	Differenza dal valore medio	Carico di rottura	Differenza dal valore medio
	N	%	N	%
dopo 8 anni	6330	+ 2	5330	- 5
	5300	-14	5500	- 1
	6950	+12	5940	+ 7
dopo 15 anni	8000	+ 8	5750	-10
	8500	+15	5600	-13
	6540	-11	6480	+ 1
	6490	-12	7820	+22

può ritenere che il carico termico nella esposizione agli agenti atmosferici naturali non ha determinato, se non un bassissimo ritiro dei profilati.

Scolorimento da esposizione agli agenti atmosferici naturali

Un criterio di valutazione della resistenza di profilati di PVC alla sollecitazione da agenti atmosferici è lo scolorimento delle superfici. La valutazione dei profilati assoggettati per lunghi anni agli agenti atmosferici naturali è stata formulata sulla base della scala dei grigi di cui alla Norma DIN 54 001. A confronto con i lati interni non esposti dei profilati cavi colorati in antracite (grado 5), dopo 8 anni di esposizione agli agenti atmosferici naturali si sono verificati soltanto scolorimenti tali, da superare e rispettivamente corrispondere al grado 3 della scala dei grigi. Siffatti scolorimenti sono assai difficilmente percettibili dall'occhio umano nella finestra (incorporata) nella costruzione. Dopo 15 anni di esposizione agli agenti atmosferici naturali, lo scolorimento degli stessi profilati ha raggiunto il grado 3 della scala dei grigi.

Resistenza d'angolo (fig. 7)

Gli angoli delle finestre sono stati rimossi con la sega dai telai dell'infisso e del battente, in guisa tale da consentire l'esame della loro resistenza attraverso la prova a compressione sul blocco di legno, in conformità delle disposizioni RAL. Poiché battenti e telai erano stati realizzati con profilati diversi, sono risultati anche valori diversi della resistenza d'angolo. Le norme esigevano semplicemente che i singoli valori di tutte le prove non diver-

gessero troppo l'uno dall'altro. Le differenze sono rimaste sempre al di sotto del 30%, sia per le finestre in uso da 8 che per quelle in uso da 15 anni, soddisfacendo così i requisiti imposti dalle disposizioni RAL per le nuove finestre.

Superfici

Gli scolorimenti dei lati di profilati per finestre assoggettati agli agenti atmosferici possono essere attribuiti anche al fatto che, sotto l'influenza di questi agenti, la superficie viene irruvidita. Allo scopo di rendere visibile l'entità di questo irruvidimento, sono state realizzate riprese al microscopio elettronico a scansione lineare di sezioni e di superfici prelevate da campioni esposti e, per il confronto, da campioni non esposti agli agenti atmosferici. Le immagini ottenute hanno dimostrato che l'irruvidimento di un lato di profilato esposto agli agenti atmosferici, visibile con un ingrandimento di 1000 volte, arriva fino ad una profondità da 20 fino a 25 microns.

Per il valore utile di una finestra nella pratica, un irruvidimento di così scarsa entità non riveste alcuna importanza.

2.3 Conclusione

Le esperienze acquisite nelle condizioni pratiche nell'arco di tempo di 18 anni e le analisi condotte su vecchie finestre smontate hanno dimostrato che con le sollecitazioni da agenti atmosferici che si verificano nell'Europa centrale non intervengono cambiamenti degni di rilievo nella idoneità pratica e nelle proprietà del materiale. Sebbene l'esposizione agli agenti atmosferici

abbia prodotto mutamenti in telai e battenti colorati in antracite, la funzionalità delle finestre non ne è tuttavia risultata pregiudicata.

Queste constatazioni trovano riscontro con le esperienze acquisite nel corso di 25 anni con finestre di PVC.

Lo stato delle finestre esaminate autorizza pertanto a ritenere, che queste finestre rimarranno intatte ancora per parecchi decenni.

3. Riepilogo

Anche i profilati per finestre di PVC sono soggetti alle influenze degli agenti atmosferici. Ma anche dopo lunghi anni di esposizione a questi ultimi, i cambiamenti che intervengono nelle proprietà fisico-meccaniche e chimiche sono talmente irrilevanti, che non esercitano alcun effetto pregiudizievole sulla funzionalità delle finestre.

I cambiamenti che intervengono alle superfici dei profilati si limitano ad uno spessore di circa 150 microns, cioè ad uno strato molto sottile della superficie, e non rivestono praticamente alcuna importanza per i profilati bianchi, in quanto di regola non risultano visibili sulla finestra montata. Per quanto riguarda i profilati colorati di PVC, il sottilissimo film danneggiato dagli agenti atmosferici determina, dopo circa 5-10 anni, uno schiarimento più o meno visibile, al quale, nella maggior parte dei casi, l'utilizzatore di queste finestre non attribuisce alcuna importanza.

Qualora si rivelasse necessario risanare per motivi estetici questi profilati per finestre di PVC divenuti più chiari, cosa che si è verificata solo in pochi casi, questi telai possono venire durevolmente rivestiti con adeguati sistemi messi a disposizione da svariati fabbricanti di prodotti vernicianti. ■

BIBLIOGRAFIA

- 1) Donauländergespräch: L'inevchiamento naturale e artificiale di materie plastiche 32/1978 pagg. 93-101.
- 2) Herner e Röhr: Risultati di analisi condotti su PVC rigido esposto per lunghi anni agli agenti atmosferici. Kunststoffe 69 (1979), 1 pagg. 44-47.
- 3) v. Postel e Röhr: Resistenza a durata di finestre di PVC modificato antiurto con poliaccrilato. BmK, Nr. 6/83, pagg. 12-14.
- 4) Barth: Comportamento all'inevchiamento di profilati per finestre di PVC rigido. Kunststoffe 76 (1986) 1, pagg. 29-34.

Dr. LO SCALZO

Vorrei chiedere al Signor Magnus in che modo sono stati misurati i risultati delle prove a trazione per urto, sui provini esposti nelle varie condizioni, in quanto sono abbastanza sorpreso che i cicli di ricupero possano riguardare anche le caratteristiche meccaniche. La mia domanda è la seguente: questo ricupero si manifesta nello strato sottile, di alcuni micron, del materiale esposto oppure su uno strato superiore? E questo è direttamente collegato alle modalità della prova?

Mr. MAGNUS

La prova che si utilizza è la resilienza a trazione, vale a dire applicando una trazione e un urto nello stesso tempo. Si tratta di una prova molto sensibile alla presenza di microfessurazioni superficiali. Con una superficie perfettamente liscia in partenza si rilevano certi valori di resistenza all'urto per trazione; per degradazione superficiale si formano delle microfessurazioni che sono molto facilmente rivelate da questa prova. Se si eliminano per abrasione circa 10 micron di spessore, si trova uno strato che è molto meno microfessurato e che permette di riguadagnare una certa parte del valore di resilienza che l'invecchiamento aveva fatto perdere.

Dr. LEGHISSA

Volevo chiedere al Dr. Roehrl qual è il significato preciso del termine «Reststabilität». Se indica, cioè, la resistenza residua alla deidroclorurazione dopo esposizione e come viene espressa.

Dr. ROEHRL

La cosiddetta «Reststabilität» viene misurata con un valore che si determina secondo un metodo analogo a quello che si impiega per misurare la normale stabilità. Vale a dire si misura a una certa temperatura, che di regola può variare fra i 180 e 200 °C (noi adottiamo i 180 °C), il tempo necessario per aversi un'eliminazione sensibile di acido cloridrico dal campione.

La prova è definita secondo le norme. Quando parliamo di «Reststabilität» indichiamo la stabilità residua di un profilo dopo invecchiamento. Si prende, cioè, una data quantità di campione del profilo invecchiato, compresa ovviamente la superficie degradata, e si saggia la stabilità col solito metodo. Questa viene indicata appunto come reststabilität.

Dr. LO SCALZO

Non vorrei occupare spazio agli altri. Permettetemi qualche osservazione per provocare qualche reazione. Direi in senso generale che la presentazione dei meccanismi di invecchiamento delle superfici dei materiali può aver dimostrato, anche a coloro che non sono assueti alla chimica delle superfici, quanto complessi siano questi fenomeni. Ma tutto ciò ci suggerisce anche la

considerazione che i tentativi di ascrivere, in maniera semplificativa, quello che succede in pratica sulle superfici a qualche singolo fattore o aspetto, siano caratterizzati da scarsa obiettività. Infatti i meccanismi interagiscono fra di loro e i fattori che ne stanno alla base sono diversi e concomitanti. Ora va considerato che associazioni ed enti di normazione cercano di definire delle unità di misura per valutare certi fenomeni, la cui complessità è scientificamente riconosciuta come molto ampia. Volev attribuire dei numeri specifici a certi comportamenti dei materiali che subiscono processi di invecchiamento è estremamente pericoloso e porta generalmente a discussioni tediose e lunghe nei vari organi di normazione, nazionali ed internazionali. In tutta questa discussione su metodi e prove va a finire che quello che era lo scopo — cercare, cioè, di dare dei criteri di garanzia sulla qualità — si trasforma in qualcosa di diverso, quale è la ricerca di definizione di un metodo di prova, che poi si finisce per superare magari con qualche trucco. Si è molto letto sui fenomeni di deidroclorurazione e sulle relative misure. Penso che ci sia ancora molto da discutere al riguardo. Esistono sistemi efficienti di stabilizzazione del PVC dei quali da anni si sa che facilitano l'evoluzione di acido cloridrico. Ciononostante sono ancora usati. Su questi materiali le misure di deidroclorurazione hanno poco significato. I relativi risultati costituiranno solo uno dei dati da prendere in considerazione per il quadro completo del prodotto. Mi sento, perciò, di mettere in guardia dall'adottare un solo test per misurare fenomeni complessi.

Dr. ROEHRL

Naturalmente, Dr. Lo Scalzo, è vero che si parla e si discute da molto di resistenza all'invecchiamento e di comportamento di un materiale in seguito a invecchiamento, e che ci si domanda come possiamo obiettivamente rappresentare un fenomeno complesso come l'invecchiamento, o come prevedere ciò che dobbiamo attenderci da un profilato dopo invecchiamento. Su tutto ciò si discute ampiamente e appassionatamente.

In seno agli organi normativi e alle commissioni di studio è stato posta l'attenzione alla necessità di definire delle indicazioni per la produzione di profilati colorati di qualità. Ma finora non si è trovata alcuna possibilità di descrivere a fondo il processo di invecchiamento con i metodi di misura noti. Siamo in un dilemma. Cosa fare? Ci troviamo nella situazione di una persona che potrebbe camminare con le sue gambe, ma si serve di due stampelle, perché gli è vietato usare le gambe.

In sede nazionale e internazionale dovremmo, però, sforzarci di svolgere delle ricerche per elaborare dei metodi semplici capaci di descrivere la resistenza all'invecchiamento del materiale e, rispettivamente, il comportamento dopo invecchiamento in maniera veramente *riproducibile*. Ho pronunciato lentamente questa parola proprio perché la maggior difficoltà del problema

sta nella riproducibilità dei metodi di prova.

Non posso, purtroppo, citarle nessun metodo che sia oggi veramente riproducibile. Posso solo dirle che dopo molti anni di studi sul PVC e migliaia di misure, i risultati ottenuti ci confortano in un certo ottimismo e euforia. Ciò che vediamo nei riguardi della finestra di PVC dopo 24 anni di applicazioni ci lascia del tutto ottimisti e ci conferma nella sensazione che verrà trovata una soluzione a questi problemi.

Dr. VENOSTA

Ing. Piana può aggiungere qualcosa sulla normativa europea e sull'omogeneizzazione fra le varie normative nazionali?

Ing. PIANA

Due semplici parole sulla situazione della normativa internazionale. La prima cosa da dire è che a livello nazionale le norme UNI stanno rientrando in uno schema uniforme per tutti i paesi europei sia per descrizione, che per titoli e contenuto.

Si passerà, così, dalla denominazione UNI a quella EN. Questo porterà ad uniformare anche i diversi test a cui vengono sottoposti i serramenti nelle varie nazioni della CEE. Alcune normative straniere stanno entrando anche in Italia. In particolare per i serramenti di PVC esiste una norma svedese che prevede una prova globale, pur con tutte le limitazioni del caso, a cui il serramento deve essere sottoposto. Questa prova fa intervenire praticamente tutti gli agenti esterni in maniera combinata: sbalzi di temperatura e di irraggiamento UV, applicazioni di carichi, di vento, di acqua in maniera ciclica al fine di imitare le sollecitazioni esterne con questo tipo di sollecitazione standardizzata.

In sede nazionale esiste una collaborazione fra i principali responsabili tecnici delle diverse Regioni al fine di giungere a un capitolato di appalto su tutti e tre i fronti, sui tre principali tipi di materiali. Lo scopo è di avere un unico capitolato per l'accettazione della fornitura, pur con le varie sfaccettature a seconda delle richieste da parte delle singole regioni. Questa iniziativa rappresenta una soluzione abbastanza importante perché per appalti pubblici regionali si potrà fare capo ad un unico documento, con semplificazione delle procedure. Ci saranno delle schede tecniche simili a quelle che l'associazione SI-PVC sta mettendo a punto per quanto riguarda i serramenti di m.p.

Dr. VENOSTA

Stiamo, dunque, avviandoci verso il 1992 con una regolamentazione normazionale a livello europeo. È molto significativo il fatto che enti pubblici come le Regioni stiano preoccupandosi di stabilire un loro capitolato. Noi, come associazione riteniamo che da queste regolamentazioni il serramento di PVC sarà avvantaggiato, perché non teme, infatti, i controlli e le prescrizioni qualitative.

L'isolamento termico delle chiusure trasparenti

Prospettive e previsioni future nella progettazione delle finestre

Parlando di finestre è opportuno ricordare che questi elementi giocano un ruolo assai importante nei consumi energetici. Se poi riflettiamo sul fatto che nell'edilizia si consuma oltre il 35% dell'energia per il riscaldamento e che quasi il 40% di questa esce dalle finestre, è evidente che dobbiamo occuparci con più attenzione di questi elementi.

In futuro infatti, a prescindere dal prezzo del petrolio e dalla sua disponibilità e volendo anche trascurare il problema del comfort ambientale che è strettamente legato alle superfici trasparenti, dovremo purtroppo fare i conti con il carico ambientale che il consumo di energia comporta e che rappresenta ormai quasi il 40% dell'intero inquinamento atmosferico delle città.

Ma torniamo alle finestre: esse sono costituite sostanzialmente da tre parti.

La prima è la parte trasparente vera e propria, che nella quasi totalità dei casi è il vetro.

La seconda è il serramento.

La terza sono i dispositivi di oscuramento o ombreggiamento. L'uso delle finestre in edilizia è regolato per ora dalla legge 373/76 per quanto riguarda il loro comportamento energetico. Un recente aggiornamento di tale legge, riducendo del 10% i coefficienti Cd e cioè la quantità di calore disperdibile dall'edificio, ha di fatto reso più importante l'isolamento termico delle finestre. Riducendo infatti le dispersioni attraverso le parti opache dell'edificio e mantenendo invariato il rapporto aeroilluminante, aumenta in maniera importante la necessità di isolare le pareti e di ridurre le dispersioni dalle finestre, senza doverle ulteriormente ridurre.

D'altra parte aumenta però in maniera notevole l'importanza degli apporti solari.

Aumenta perciò l'importanza della finestra come captatore solare. Tale caratteristica non è però contemplata dalla legge; per raccontare un aneddoto, basti pensare che l'opuscolo esplicativo della 373, edito dal Ministero dell'Industria nel '79 riporta un esempio di applicazione della legge in cui il 47% della superficie vetrata è rivolta a nord.

In prospettiva ci si attende una nuova legge (che per altro è già al Parlamento) che dovrebbe prendere in considerazione non soltanto le dispersioni, ma anche gli apporti solari.

di
Sergio Mammi

Dal punto di vista della normativa tecnica che servirà di supporto applicativo a tale legge, il CTI ha già provveduto all'elaborazione di una norma che è attualmente in inchiesta pubblica e di cui si spera di poter disporre in tempo utile di una convincente validazione.

Invece vi è per ora una carenza profonda circa i valori della trasmittanza da utilizzare per le finestre. Anche su questo punto si spera venga fatta chiarezza in tempi brevi anche in relazione ai lavori dell'apposito comitato tecnico del CEN che sta discutendo l'adozione dei documenti ISO.

In questi anni, infatti, ci si è occupati molto delle vetrate ed effettivamente questo antico materiale ha saputo sfoderare delle novità importanti.

In primo luogo le vetrate isolanti a camera hanno portato indiscutibili benefici sia energetici sia di comfort, ma con un limite. Infatti come si vede dal grafico l'aumento dell'intercapedine non migliora oltre un certo limite le performances di tale vetrata.

La novità più interessante è costituita invece dai vetri cosiddetti basso emissivi. Per capire meglio il loro funzionamento occorre dare uno sguardo allo spettro della luce. In funzione della lunghezza d'onda possiamo distinguere due zone: la prima è quella relativa all'emissione solare, la seconda quella dei corpi a bassa temperatura.

Il vetro è naturalmente opaco alle emissioni a bassa temperatura e cioè quelle dei corpi caldi interni all'edificio, e trasparente alla radiazione solare e questo spiega l'effetto serra. Il vetro basso emissivo è un vetro che sfrutta al meglio tale proprietà, esaltando perciò al massimo la capacità di captare energia solare e di isolare termicamente riflettendo l'irraggiamento dei corpi caldi. La trasmittanza totale di questo tipo di vetrate scende a valori incredibilmente bassi e simili a quelle delle murature, con costi che non sono trascurabili in sé, ma che se riferiti alla finestra nella sua globalità incidono per meno del 30%.

Se vogliamo ora dire due parole sui sistemi di oscuramento, gioverà ricordare

che molto spesso si parla di trasmittanza media giorno-notte, asserendo che tapparelle avvolgibili o persiane riducono alla metà le dispersioni delle finestre per buona parte della giornata. Per poter tenere veramente conto di ciò bisogna che si realizzino due condizioni: la prima che l'intercapedine tra il vetro e la chiusura opaca sia a tenuta, cosa che non si verifica quasi mai; la seconda che la chiusura e l'apertura degli schermi avvenga con regolarità appena cala il sole e appena esso sorge, per non impedire gli apporti solari. Anche questa condizione si verifica di rado e dunque un buon progettista non può tenerne conto a priori, ma è preferibile che assuma condizioni cautelative in favore di sicurezza.

In vista di un migliore e più razionale utilizzo dell'energia solare non bisogna dimenticare il problema estivo; finestre più captatrici e meglio orientate a sud, possono portare ad un fastidioso surriscaldamento estivo.

Per ovviare a tale inconveniente si dovrà ricorrere a schermi fissi o mobili (come le vecchie persiane) di recente in disuso. Della tenuta dei serramenti hanno parlato altri oratori, e giustamente hanno posto l'accento sulla necessità che una buona ventilazione dei locali non sia più in futuro affidata all'aleatorio funzionamento degli spifferi.

È preferibile un serramento a buona tenuta e dispositivi appropriati per la ventilazione anche per un altro importantissimo motivo. L'aumento del valore di isolamento delle murature e delle vetrate comporta infatti un aumento della temperatura di tutte le superfici della casa, con innegabile maggior comfort termico. Rimane il problema dei serramenti molto conduttori come quelli metallici: inevitabilmente è su questi che si forma la condensa rimanendo le uniche superfici fredde. La condensa è un fenomeno da evitare sempre non solo perché può favorire l'insorgere di muffe difficili poi da eliminare, ma anche perché riducendo il grado igrometrico dell'aria ambientale è comunque un elemento negativo ai fini del comfort.

Per concludere, a breve termine la finestra richiederà una progettazione più attenta: vetrate più intelligenti, chiusure opache più efficienti dal punto di vista energetico sia invernale che estivo, serramenti con buona tenuta e buon isolamento.

Le infiltrazioni d'aria negli edifici: ricerche sperimentali e raccomandazioni internazionali

Premessa

Nell'ambito del programma di cooperazione dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) «Energy Conservation in Buildings and Community Systems» opera da dieci anni un centro di ricerca denominato «Air Infiltration and Ventilation Centre» (AIVC). L'attività dell'AIVC è sostenuta finanziariamente dal contributo di tredici paesi aderenti all'Ocse, fra cui l'Italia, ed è coordinata da uno «Steering Group», a cui l'autore di questa nota partecipa in qualità di rappresentante italiano.

L'AIVC svolge un compito importante di ricerca e coordinamento internazionale su temi quali i metodi teorici di calcolo delle infiltrazioni, le tecniche sperimentali per la valutazione della tenuta all'aria dell'involucro o dei tassi di ricambio in un edificio, il monitoraggio della qualità dell'aria. Tra i servizi svolti dall'AIVC si segnala la redazione di un bollettino trimestrale di informazione (1), la gestione di una banca dati bibliografica di settore (2), la pubblicazione di rapporti di ricerca e manuali sui temi prima elencati, l'organizzazione annualmente di un congresso internazionale (in autunno) e di un seminario di studio (in primavera).

L'AIVC celebra quest'anno il proprio decennale ed il congresso che si terrà a settembre in Finlandia costituirà un'occasione per fare il punto sui risultati ottenuti nel campo della ricerca di base, dell'innovazione tecnologica e della normativa nel settore della ventilazione e della qualità dell'aria negli ambienti abitati.

È utile quindi, in questa sede, ripercorrere l'evoluzione dell'atteggiamento degli operatori sul tema della ventilazione, delle infiltrazioni e della qualità dell'aria negli ultimi dieci-quindici anni.

In passato, l'interesse per il problema delle infiltrazioni d'aria negli edifici scaturiva essenzialmente da consi-

di
Marco Masoero

derazioni sul comfort degli occupanti, problema legato quindi soprattutto alle condizioni climatiche locali. Il controllo delle infiltrazioni è sempre stato un fattore critico in climi molto severi (si pensi alla Scandinavia), poiché l'immissione in ambiente di aria esterna a temperatura ben al di sotto dello zero deve essere accuratamente controllata. In climi tendenzialmente freddo-umidi (si pensi alla Gran Bretagna), la ventilazione naturale è sempre stata percepita come fattore determinante per evitare l'insorgere di problemi di condensa nelle strutture edilizie, garantendo adeguati tassi di ricambio dell'aria.

La crisi petrolifera degli anni '70 ha sollevato l'interesse per gli aspetti energetici della ventilazione; ha altresì causato profonde modificazioni nelle tecnologie costruttive: isolamento termico delle pareti, adozione di vetrate isolanti e riduzione delle infiltrazioni d'aria non controllate hanno rappresentato i segni più tangibili di tale cambiamento. Cambiamento che, se da un lato ha portato ad ottenere risparmi consistenti di combustibile per riscaldamento, dall'altro non è stato immune dal provocare conseguenze negative: si pensi alle «patologie da condensa» causate dalla presenza di ponti termici e da insufficienti tassi di ventilazione, così frequenti soprattutto nell'edilizia industrializzata.

Nella fase storica attuale, in cui il problema energetico è meno pressante che nel recente passato, l'interesse si è progressivamente spostato verso il tema della qualità dell'aria, tema che ancora una volta ha profondi legami col controllo della ventilazione e quindi con la tecnologia dei serramenti. Il risparmio energetico non è più visto come un obiettivo da perseguire «a

qualunque costo», ma come una conseguenza naturale della corretta progettazione e gestione dei sistemi edificio-impianti, il cui obiettivo primario è comunque il garantire condizioni di comfort adeguate agli occupanti.

La previsione teorica delle infiltrazioni d'aria

Le infiltrazioni d'aria in un edificio sono causate dalla differenza di pressione esistente fra esterno ed interno dell'edificio, differenza di pressione che è dovuta a tre fattori (si veda 3, 4 per una discussione dettagliata del problema):

1) L'effetto dinamico del vento che mette in sovrappressione il lato sopravvento dell'edificio e in depressione quello sottovento.

2) L'effetto camino dovuto alla differenza fra temperatura esterna e temperatura interna.

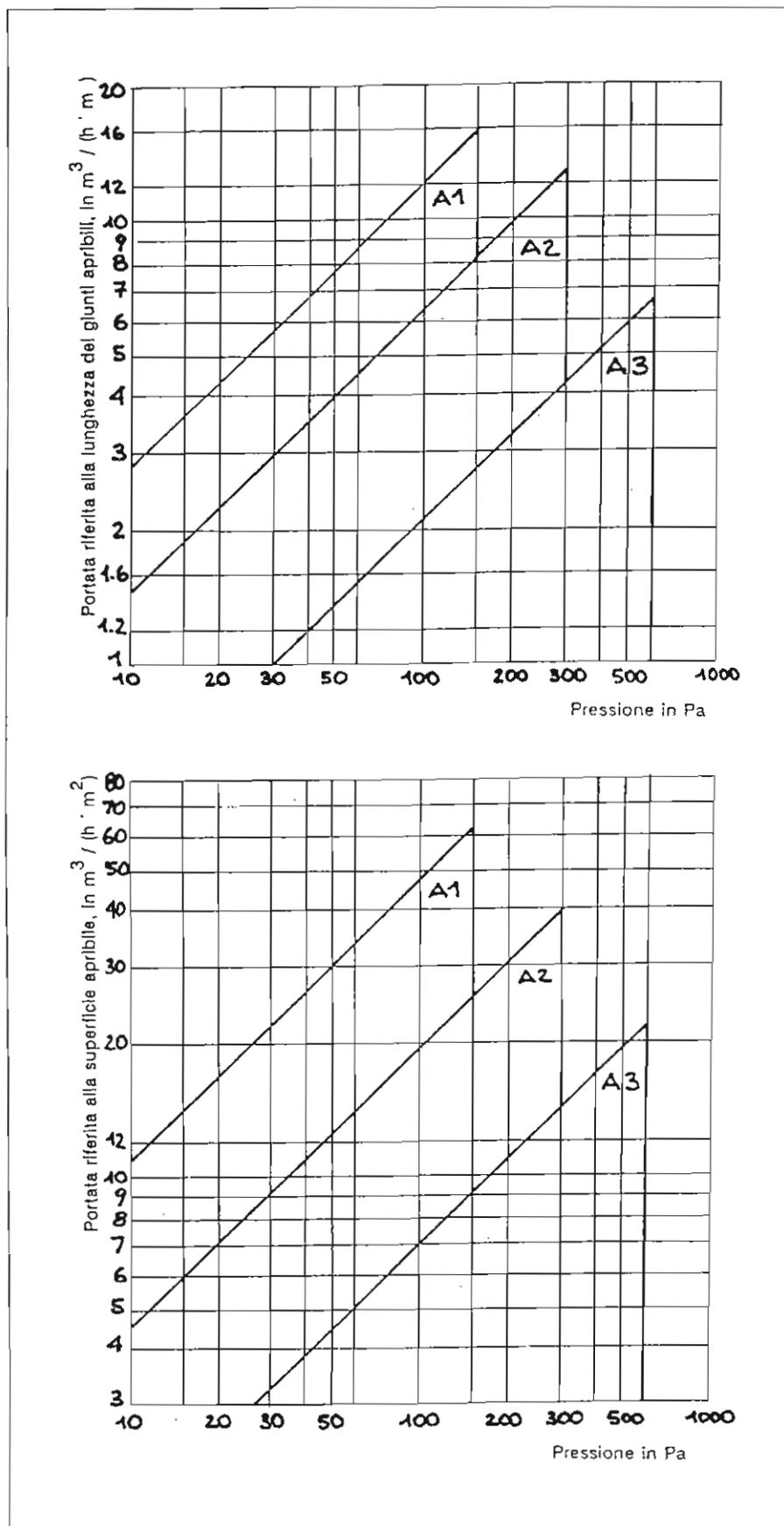
3) La sovrappressione o depressione creata da sistemi di ventilazione controllata o dalla presenza nell'edificio di generatori di calore e relativo camino.

L'importanza relativa dei tre fattori varia in funzione delle condizioni meteorologiche, delle caratteristiche dimensionali e distributive dell'edificio e della tipologia di impianto di ventilazione. Per grandi linee si può affermare che l'effetto dinamico del vento è rilevante solo se la velocità del vento supera valori di 1-2 m/s, mentre l'effetto camino è tanto più significativo quanto maggiore è la differenza di temperatura interno-esterno e l'altezza dell'edificio.

A parità di differenza di pressione tra interno ed esterno, la portata d'aria che fluisce attraverso l'involucro di un edificio dipende da un fattore detto «permeabilità dell'involucro», definito attraverso l'equazione:

$$Q = C A \Delta P^n \quad (1')$$

Fig. 1 - Diagrammi di classificazione dei serramenti in base alla permeabilità all'aria, secondo norma UNI 7979.



dove Q rappresenta la portata volumetrica (mc/h), A l'area del componente di involucro considerato (m²), ΔP la differenza di pressione (Pa); n rappresenta un esponente caratteristico del flusso attraverso l'involucro che assume un valore dell'ordine di 0.65. La permeabilità C viene quindi espressa nelle unità (mc/h · m² · Paⁿ).

Nel caso dei serramenti, può essere conveniente riferire la permeabilità anziché all'unità di superficie di componente, all'unità di lunghezza di giunto apribile, ottenendo quindi

$$Q = C'L \Delta P^n \quad (1'')$$

dove la lunghezza L viene espressa in (m) e C' in (mc/h · m² · Paⁿ).

Supponendo quindi di conoscere la differenza di pressione ΔP in funzione delle condizioni meteorologiche e della geometria dell'edificio (3, 4), il calcolo della portata d'aria di infiltrazione è possibile una volta noti i valori di permeabilità C o C' e l'esponente di flusso n.

Questi dati caratteristici del serramento possono essere determinati tramite misure sperimentali con tecniche di pressurizzazione, eseguiti in campo o in laboratorio. Esiste una vasta letteratura sui metodi sperimentali (si veda in particolare 5) ed esistono inoltre, soprattutto per le misure di laboratorio, specifiche normative italiane e internazionali, come illustrato nel paragrafo 3.

La determinazione sperimentale delle infiltrazioni d'aria

I metodi di misura sperimentale delle infiltrazioni d'aria negli edifici sono classificabili in due grandi gruppi (5):

1) Metodi per la determinazione della caratteristica di permeabilità dei componenti o dell'intero edificio.

2) Metodi per la determinazione del tasso di infiltrazione d'aria in condizioni definite.

La determinazione della permeabilità si basa generalmente sulla tecnica di pressurizzazione, sia nel caso di misure di laboratorio, sia nel caso di misure in campo. Il principio sperimentale è di creare una differenza di pressione attraverso le facce del componente in prova e correlare i valori di

ΔP con la portata d'aria che attraversa il componente.

Quando si opera in campo, la misura è spesso mirata alla determinazione della permeabilità complessiva dell'involucro. In questo caso si installa in un punto opportuno dell'involucro (ad esempio nel vano di una porta) un ventilatore a velocità variabile che mette in sovrappressione (o depressione) l'ambiente rispetto all'esterno. Conoscendo la caratteristica del ventilatore, dalla misura contemporanea di velocità di rotazione e prevalenza si risale alla legge pressione-infiltrazioni e quindi alla permeabilità globale dell'edificio. In taluni casi è possibile effettuare la misura per mezzo dell'impianto di condizionamento dell'edificio, alterando opportunamente le portate immesse ed estratte in modo da creare la differenza di pressione voluta fra ambiente ed esterno.

Sono stati sperimentati altri metodi per la determinazione della permeabilità, tra cui un metodo acustico basato sulla correlazione tra potere fonoisolante e permeabilità all'aria; l'affidabilità di tale metodo, che si distingue per la semplicità di attuazione, non è peraltro sufficientemente verificata.

Per quanto riguarda la misura diretta della portata di infiltrazione, i metodi più affidabili fanno uso di tecniche con i gas traccianti. I gas traccianti sono composti normalmente presenti nell'aria in quantitativi minimi, che vengono introdotti nell'ambiente da misurare con modalità controllate. Il tasso di ventilazione viene determinato dalla correlazione tra il quantitativo di tracciante immesso e la concentrazione del tracciante nell'aria.

Esistono diverse varianti della misura con gas traccianti:

1) Tecnica di decadimento: si inietta una quantità di tracciante sino a portare la concentrazione a un valore iniziale C_0 e quindi si osserva il decadimento nel tempo della concentrazione, che segue una legge esponenziale la cui costante di tempo è correlabile al tasso di ventilazione.

2) Tecnica a concentrazione costante: la portata di tracciante immesso in ambiente varia nel tempo in modo da mantenere costante la concentrazione; è una tecnica più precisa del-

la precedente ma più complessa in quanto richiede un sistema di immissione regolato da microprocessore.

3) Tecnica impulsiva: l'immissione di tracciante è discontinua (a impulsi): è un metodo più semplice dei precedenti, ma ancora poco collaudato.

4) Tecnica con campionamento passivo: utilizza delle provette che emettono il tracciante e lo campionano per assorbimento, in modo totalmente passivo; la provetta di campio-

namento viene poi analizzata in laboratorio. È la tecnica più semplice in quanto non richiede di installare strumentazione in campo, ma è ancora in fase sperimentale.

Le tecniche di misura con gas traccianti hanno avuto una notevole applicazione pratica negli ultimi anni soprattutto in Scandinavia e negli Stati Uniti, paesi in cui sono in corso di stesura le relative normative. Strumentazione ad hoc è reperibile sul mercato:

Tab. 1 - Normative e raccomandazioni in materia di tenuta all'aria e tassi minimi di ventilazione (Tratto da "A review of building airtightness and ventilation standards" - AIVC Technical Note 14 - February 1984)

Tenuta all'aria											
Paese	DK	N	S	B	NL	CH	UK	D	CND	USA	NZ
Componente	F	R	R	F	F	F+P	F	F	F+P	F+P	F
Edificio	N	R	R	N	N	N	N	N	N1	N1	N

Tassi minimi di ventilazione											
Paese	DK	N	S	B	NL	CH	UK	D	CND	USA	NZ
Residenze	R	R	R	R3	R	N2	R	R	R	R	N2
Altri	R	R	R	—	R	R	R	R	R	R	N4

Legenda:

- N = Non esistono raccomandazioni
- R = Esistono raccomandazioni
- F = Racc. solo per finestre
- F+P = Racc. per finestre e porte
- 1 = Bozza di normativa in discussione
- 2 = Raccomandazioni per cucine, bagni, WC
- 3 = Raccomandazione volontaria
- 4 = Valori di legge per bagni, WC e lavanderie

Tab. 2 - Valori limite di permeabilità all'aria secondo normativa svedese (Tratto da "A review of building airtightness and ventilation standards" - AIVC Technical Note 14 - February 1984)

Permeabilità globale dell'edificio per $\Delta P = 50$ Pa	
Tipo di edificio	Ricambio d'aria (volumi/ora)
Casa unifamiliare isolata	3.0
Altri edifici residenziali (max. 2 piani)	2.0
Edifici residenziali di 3 piani o più	1.0

Portata di infiltrazione unitaria per i componenti (mc/hm^2)				
Elemento di involucro	ΔP (Pa)	Numero di piani dell'edificio		
		1-2	3-8	> 8
Parete esterna	50	0.4	0.2	0.2
	50	1.7	1.7	1.7
Finestra/porta esterna	300	5.6	5.6	5.6
	500	—	—	7.9
Copertura	50	0.2	0.1	0.1

ad esempio, esiste un sistema di misura a concentrazione costante di produzione danese, del costo di venti milioni circa.

Situazione della normativa internazionale

In Italia, le prove di laboratorio sui serramenti sono regolamentate da un gruppo di norme UNI raccolte sotto il titolo comune «Metodi di prova per serramenti esterni» (6). In particolare la determinazione sperimentale in laboratorio della caratteristica di permeabilità all'aria è illustrata nella normativa approvata nel 1975 dal CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) ed adottata in Italia come norma UNI-EN 42 «Metodi di prova delle finestre: Prova di permeabilità all'aria» (7). Obiettivo della prova è la determinazione del diagramma portata-pressione, corrispondente alle equazioni (1') e (1'') sopra riportate.

Ai fini della classificazione dei serramenti in funzione della permeabilità all'aria, la normativa UNI 7979 «Serramenti esterni (verticali): Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento» prevede quanto segue. I risultati della prova di permeabilità all'aria vengono riportati sul diagramma logaritmico pressione-portata, riportato in figura 1, in cui il piano è suddiviso in regioni, corrispondenti a tre classi di permeabilità (denominate A1, A2 e A3), più una regione per i serramenti «non classificabili». I serramenti di classe A3 presentano il valore minimo di permeabilità, mentre quelli non classificati il valore massimo.

Al momento attuale l'apparato legislativo-normativo italiano non prevede ulteriori disposizioni riguardo alla tenuta all'aria dei componenti di involucro, al contrario di altri paesi in cui esistono, ad esempio, disposizioni ri-

guardanti la tenuta complessiva dell'involucro. La situazione normativa internazionale è sintetizzata in Tabella 1, basata sui risultati di un'indagine svolta nel 1983 dall'AIVC. Si può notare che i primi paesi a imporre limiti di permeabilità globale dell'involucro sono stati la Svezia e la Norvegia.

A titolo di esempio si riportano in Tabella 2 i limiti stabiliti dalla normativa svedese per gli edifici a destinazione residenziale, rispettivamente per l'edificio nel suo complesso e per alcuni tipi di componenti di involucro. Si può osservare, ad esempio, che il valore limite di permeabilità per i serramenti esterni sono assai restrittivi se rapportati alla classificazione della UNI 7979; il limite di portata unitaria a 300 Pa è infatti pari a $5.6 \text{ mc/h} \cdot \text{m}^2$, valore che corrisponde ad una classe A3 di buona qualità, considerando che il limite per la classe A3 a 300 Pa è pari a circa $14 \text{ mc/h} \cdot \text{m}^2$.

Conclusioni

Dopo esser stato lungamente trascurato dagli addetti ai lavori, il tema della ventilazione degli edifici è stato affrontato su basi scientifiche rigorose in questi ultimi dieci anni, dapprima sotto lo stimolo della crisi energetica, più recentemente nell'ambito del rinnovato interesse per il tema della qualità degli ambienti interni.

Nell'ultimo decennio notevoli progressi sono stati compiuti nel campo delle conoscenze teoriche, della messa a punto di tecniche sperimentali e dello sviluppo di strumenti normativi. Un ruolo importante in questo sviluppo è stato svolto dall'Air Infiltration and Ventilation Centre dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, organismo cui l'Italia partecipa.

In sintesi si può affermare che un approccio corretto alla ventilazione si dovrebbe basare sulle seguenti regole:

— la qualità dell'aria interna è un requisito fondamentale per l'igiene e la confortevolezza degli ambienti interni;

— il ricambio dell'aria, necessario per la diluizione degli inquinanti di produzione endogena, non deve essere affidata esclusivamente ad infiltrazioni non controllate attraverso gli elementi «permeabili» dell'involucro;

— i serramenti devono pertanto garantire una buona tenuta all'aria, sia per ragioni di comfort e sia di risparmio energetico;

— la ventilazione deve essere controllata prevedendo sistemi meccanici di estrazione dell'aria viziata e dispositivi di immissione dell'aria esterna opportunamente localizzati (ad esempio bocchette autoregolanti installate sul cassonetto dell'avvolgibile).

Il compito dei costruttori di serramenti è dunque quello di realizzare prodotti di qualità, che garantiscano un'adeguata tenuta all'aria, inseriti in un organismo edilizio in cui il controllo della ventilazione è affidato ad un impianto specifico. ■

Prof. Marco Masoero
(Professore Associato di Impianti Termotecnici - Dipartimento di Energetica - Politecnico di Torino)

BIBLIOGRAFIA

- 1) *Air*, Bollettino trimestrale dell'Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), University of Warwick Science Park, Sir W. Lyons Road, Coventry CV4 7EZ, Gran Bretagna.
- 2) *Airbase*, Pubblicazione periodica dell'AIVC.
- 3) Progetto Finalizzato Energetica, *Guida al controllo energetico della progettazione*, PEG Editrice, 1985.
- 4) M. Liddament, *Air infiltration calculation guide*, AIVC, 1986.
- 5) P. Charlesworth, *Air infiltration measurements guide*, AIVC, 1988.
- 6) Norme UNI 7518-7525, *Metodi di prova per serramenti esterni*.
- 7) Norma UNI EN 42, *Metodi di prova delle finestre: prova di permeabilità all'aria*.

La difesa dai rumori esterni negli edifici civili, industriali e commerciali

1. Introduzione

Se la facciata di un edificio ha, tra gli altri compiti, anche quello della protezione degli ambienti contro i rumori provenienti dall'esterno, le maggiori attenzioni vanno dirette alle finestre che della facciata stessa costituiscono indubbiamente i componenti più critici.

Il problema aumenta d'importanza parallelamente all'incremento della circolazione stradale ed alla congestione delle aree urbane. Nelle varie iniziative e campagne d'opinione promosse a favore della difesa ambientale si osserva una crescente maturità nella valutazione del clima acustico e nella consapevolezza della necessità di un efficace controllo del rumore.

Le operazioni più importanti del controllo devono (o dovrebbero) essere effettuate dall'Autorità Amministrativa, mediante norme sull'emissione sonora delle sorgenti, sulla disciplina del traffico, sulla pianificazione del territorio, sull'organizzazione dello spazio costruito. Si tratta di interventi di tipo «attivo» in quanto agiscono direttamente alla fonte e possono fornire eccellenti risultati.

Al di là di queste operazioni, la difesa degli spazi abitati contro le intrusioni sonore è affidata alle frontiere esterne degli edifici e, in particolare, alle finestre.

È tecnicamente possibile realizzare finestre con buone prestazioni acustiche. Esistono problemi economici che tuttavia possono essere sensibilmente attenuati qualora il progetto e la costruzione avvengano sulla base di un procedimento di ottimizzazione dei vari elementi che compongono il serramento.

L'ottimizzazione è a sua volta resa possibile dalla conoscenza delle modalità e delle leggi che governano la propagazione sonora attraverso una struttura divisoria.

Alcuni dei fenomeni più importanti che influenzano la prestazione acustica di un serramento sono illustrati nelle note che seguono. Oltre agli inevitabili richiami teorici, per altro ridotti all'essenziale, verranno riportati dati sperimentali, più idonei a fornire indi-

di
Ermengildo Brosio

cazioni immediate in termini quantitativi.

2. Potere fonoisolante del vetro

Pare opportuno iniziare con alcuni cenni sulle prestazioni acustiche del vetro, che rappresenta di un serramento la parte predominante.

Come per tanti altri materiali impiegati in edilizia, anche al vetro è applicabile la legge di previsione del potere fonoisolante basata sulla massa.

In linea generale, per una data frequenza ed un dato angolo d'incidenza, il potere fonoisolante è proporzionale al logaritmo della massa per unità di superficie.

Ciò che caratterizza il vetro rispetto ad altri materiali sono le sue proprietà fisico-meccaniche: l'elevato modulo d'elasticità (oltre 70 GN/mq) ed il basso fattore di perdita (< 0.001) conferiscono al materiale buone doti di elasticità, per cui si rivelano particolarmente sensibili i fenomeni di risonanza che influenzano il potere fonoisolante in determinate zone della sua curva di frequenza.

Con riferimento alle figure 1 e 2 che riportano l'andamento generico di tali curve rispettivamente per divisori semplici e divisori doppi, il comportamento del vetro presenta le seguenti particolarità:

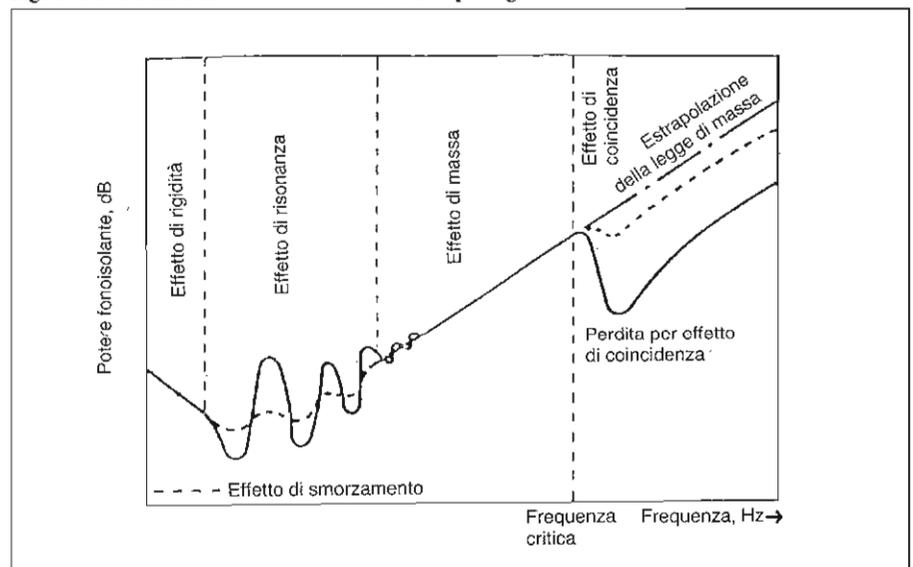
— per le lastre monolitiche è molto marcata la perdita per effetto di coincidenza, che per gli spessori di lastra comunemente adottati in pratica avviene nella gamma di frequenze medio-alte;

— per le strutture vetro-camera si ha, oltre all'effetto di coincidenza delle due lastre componenti, una perdita evidente dovuta alla risonanza massaria-massa, situata nella gamma di bassa frequenza ma comunque compresa nello spettro dei rumori normalmente considerati in acustica edilizia;

— per le lastre stratificate, che costituiscono una struttura smorzata con caratteristiche elastiche ben diverse da quelle indicate per il vetro monolitico, si ha un comportamento meno soggetto a fenomeni di risonanza ed una caratteristica di frequenza conseguentemente più regolare.

A titolo di esempio si riportano, nelle figure 3, 4 e 5, dati sperimentali relativi rispettivamente ad una lastra monolitica da 5 mm, ad una struttura vetro-camera 6-12-6 mm e ad una lastra stratificata 6+6 mm.

Fig. 1 - Potere fonoisolante di un divisorio semplice generico.



Disponendo di una cospicua massa di dati sperimentali, è stata possibile l'elaborazione di una legge empirica di previsione del comportamento acustico del vetro, in termini di indice globale di valutazione ISO a 500 Hz; le

modalità di valutazione dell'indice ISO sono illustrate in fig. 6.

La legge di previsione è applicabile in primo luogo ai vetri monolitici, ma può essere utilizzata anche per strutture vetro-camera e per lastre stratifica-

te, con l'avvertenza che nella realtà si avrà un comportamento leggermente peggiore per le prime e leggermente migliore per le seconde, con un'incertezza valutabile intorno a $\pm 1.5-2$ dB.

In base a tale legge empirica, l'indice di valutazione ISO (R_w) è dato da:

$$R_w = 12 \lg m + 17 \text{ (dB)}$$

con m = massa per unità di superficie della struttura, in kg/mq.

L'espressione è valida per valori di m non superiori a 60 kg/mq e per spessori d'intercapedine nelle strutture

Fig. 2 - Potere fonoisolante di un divisorio doppio generico.

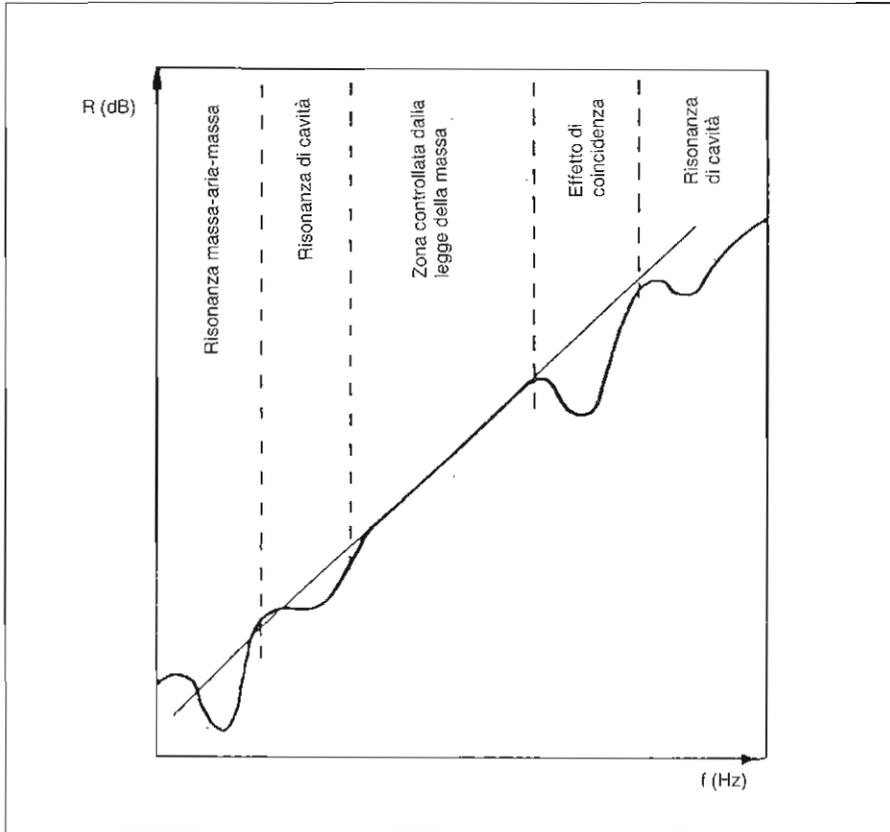


Fig. 3 - Potere fonoisolante sperimentale di una lastra di vetro monolitico da 5 mm.

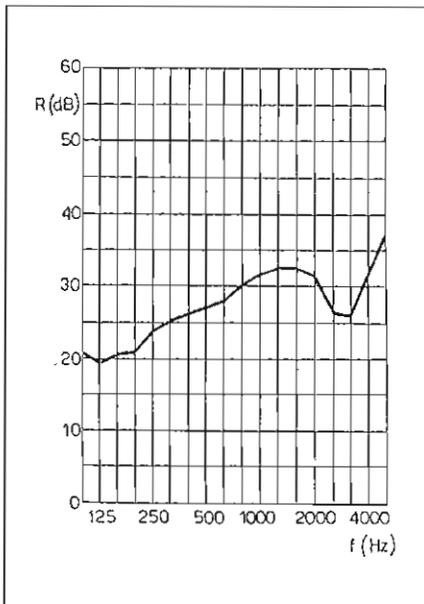


Fig. 4 - Potere fonoisolante sperimentale di una lastra di vetro-camera da 6-12-6 mm.

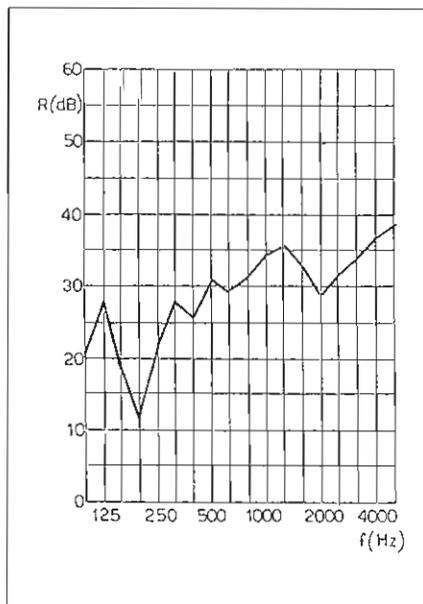


Fig. 5 - Potere fonoisolante sperimentale di una lastra di vetro stratificata da 6+6 mm.

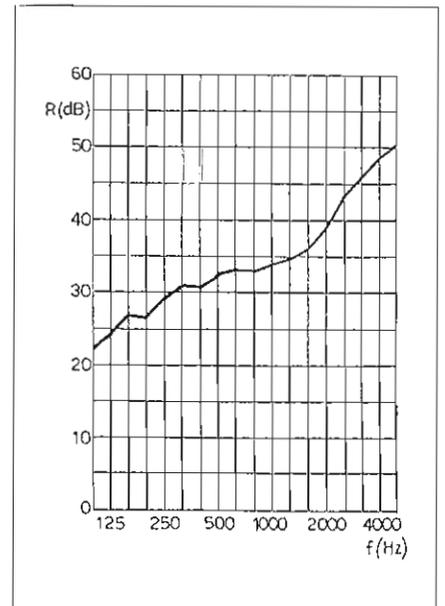


Fig. 6 - Potere fonoisolante di lastra di vetro da 10 mm per vari valori di η .

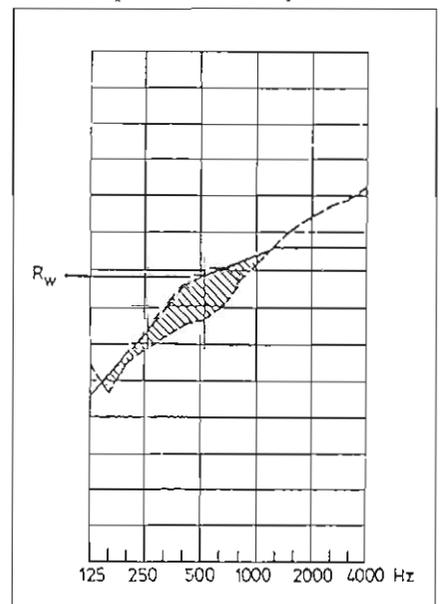


Fig. 7 - Legge della massa sperimentale per le lastre di vetro.

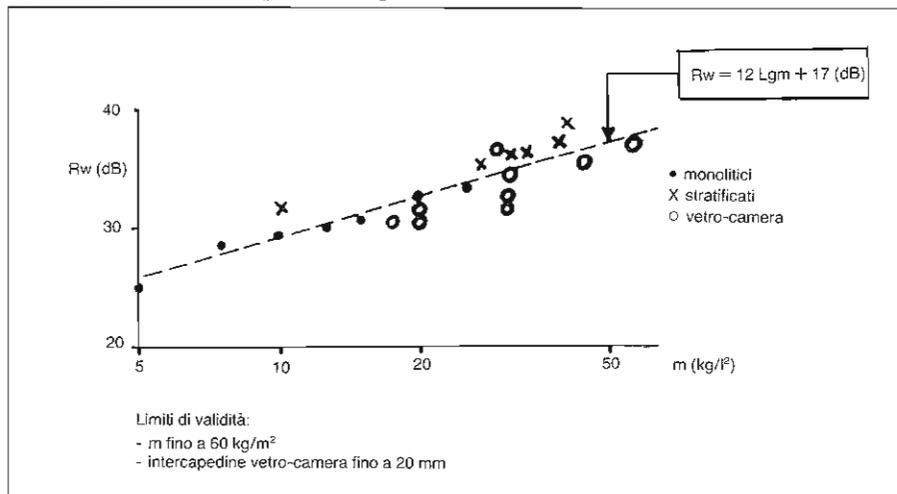
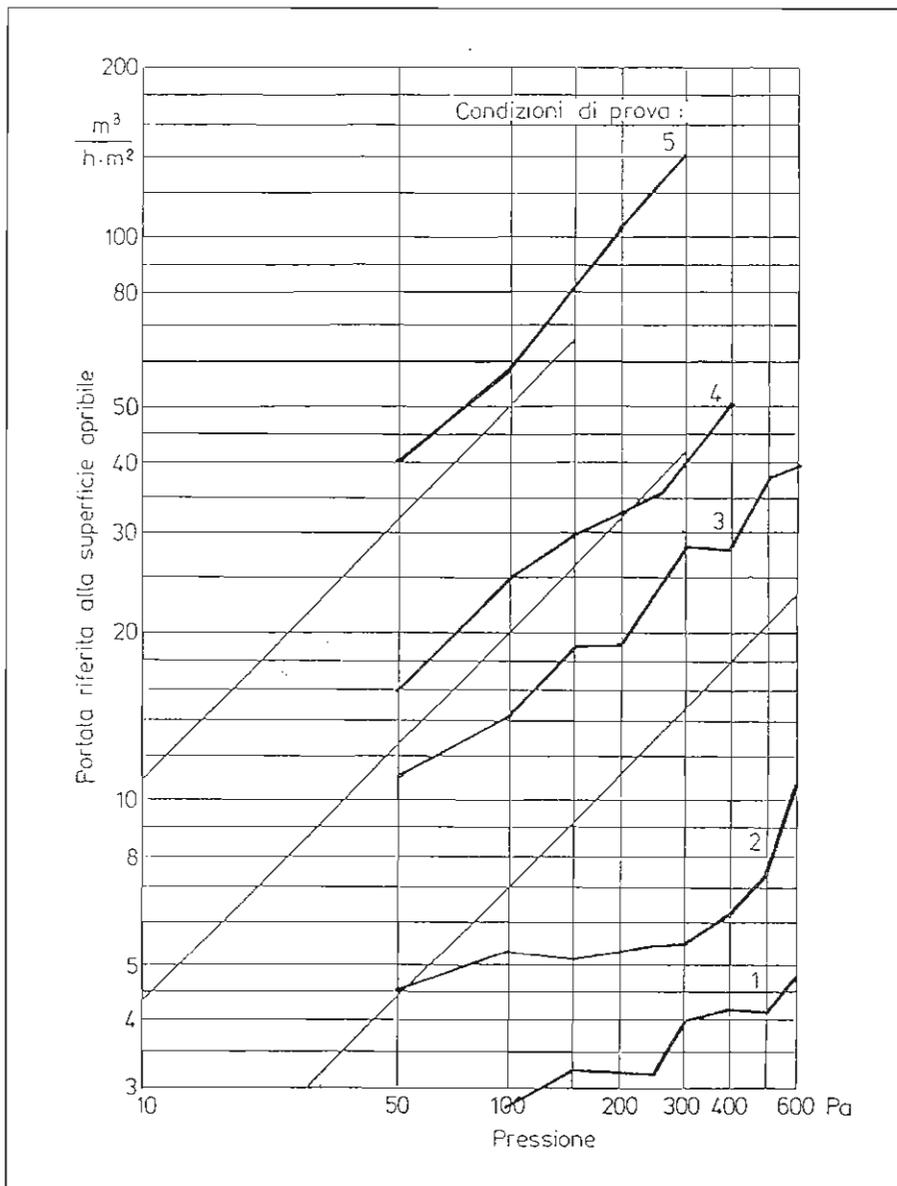


Fig. 8 - Curve sperimentali di permeabilità all'aria di una finestra con lastra vetro-camera da 4-12-4 mm.



vetro-camera non superiori a 20 mm.

In fig. 7 si riportano alcuni dei dati sperimentali che hanno fornito la base per la formula su riportata e la retta di regressione che ne deriva.

3. Potere fonoisolante delle finestre

Le prestazioni cui si è fatto cenno nel paragrafo precedente si riferiscono a strutture in condizioni ottimali di installazione.

In un serramento altri elementi concorrono a determinare il potere fonoisolante; si tratta di elementi connessi con la tecnologia della struttura e la loro influenza si può manifestare soltanto in forma negativa.

In linea generale si può infatti dire che sotto il profilo acustico la tecnologia di una finestra è tanto migliore quanto più sono contenute le perdite di prestazione rispetto a quella dalla sola lastra.

3.1 Effetto delle infiltrazioni

Esiste una stretta correlazione fra potere fonoisolante e permeabilità all'aria di una finestra.

Prove sistematiche condotte in laboratorio hanno consentito di rilevare tale correlazione in termini quantitativi.

A titolo indicativo si riportano i risultati di misure effettuate su una finestra con telaio in PVC e vetro-camera 4-12-4, le cui condizioni di tenuta erano state alterate artificialmente, in modo da ottenere diversi gradi di permeabilità. Nella stessa installazione si rilevavano quindi la permeabilità all'aria (fig. 8) ed il corrispondente potere fonoisolante (fig. 9). È possibile osservare il degrado che subisce la prestazione acustica, soprattutto nella gamma delle frequenze medio-alte.

Dal complesso di risultati, ottenuti su diversi tipi di telai e di vetrazioni, fu possibile ottenere una correlazione fra le due prestazioni espresse in termini globali: indice di valutazione R_w per il potere fonoisolante (dB) e portata d'aria Q_s riferita alla superficie ($mc/h \cdot mq$) ad una pressione di 100 Pa per la permeabilità.

Come si può osservare dalla fig. 10, dai dati sperimentali si ottiene una retta di regressione entro limiti di dispersione accettabili; se ne deduce in definitiva che la conservazione della qualità acustica della lastra è conseguibile soltanto con una permeabilità di clas-

Fig. 9 - Potere fonoisolante corrispondente alle curve di permeabilità riportate in fig. 8.

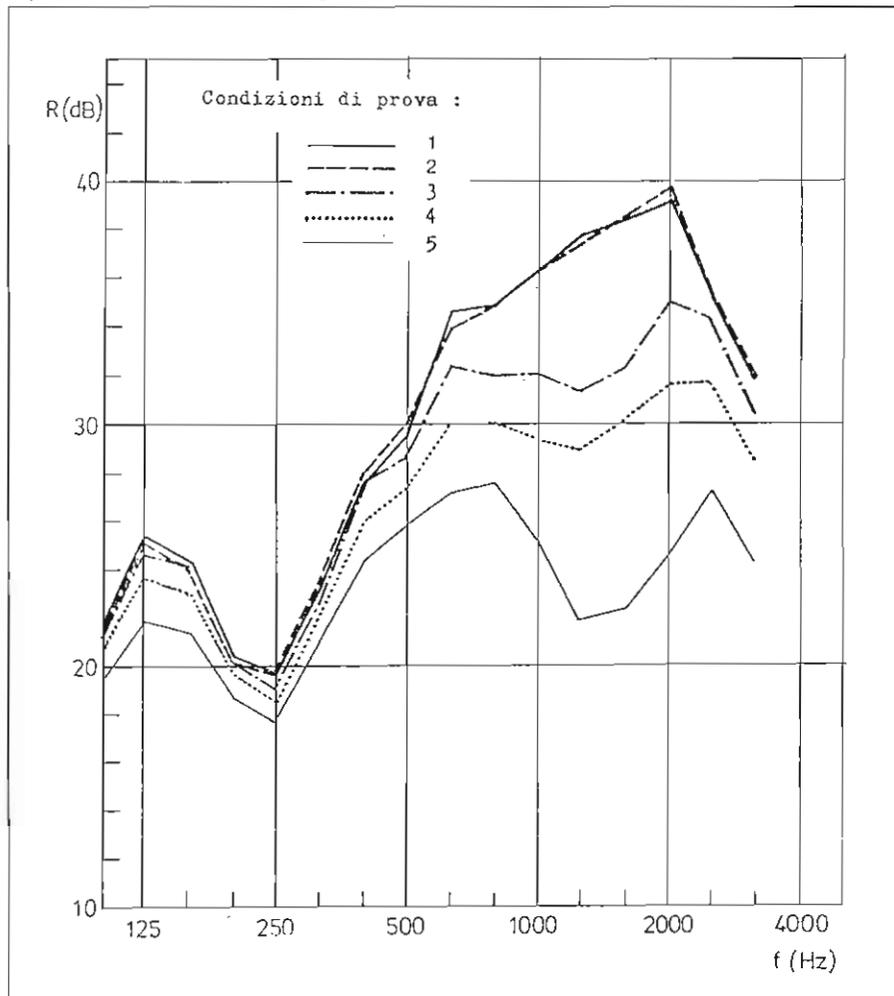
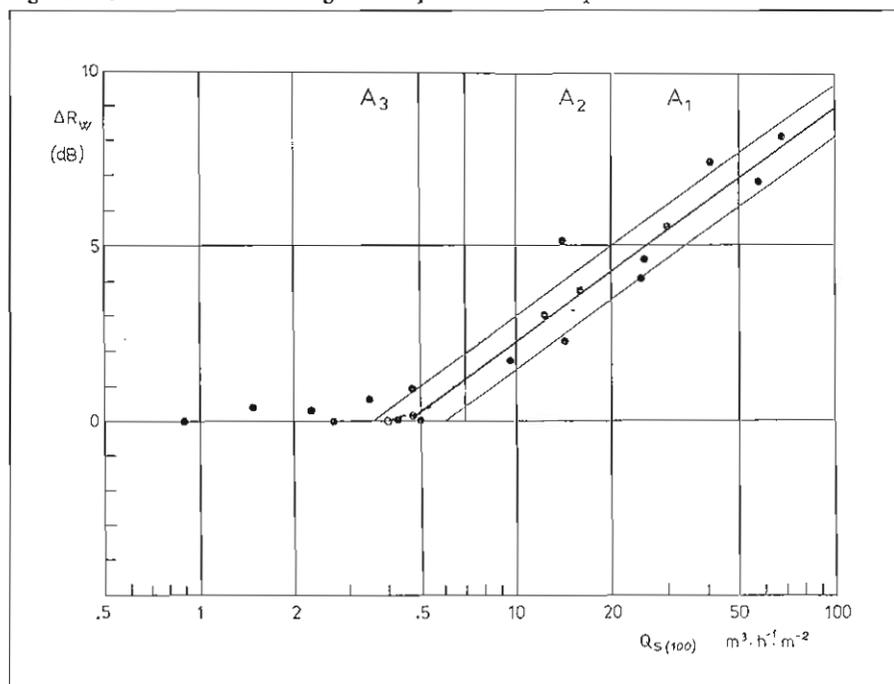


Fig. 10 - Correlazione fra i valori globali di permeabilità e di potere fonoisolante.



se A3; con la classe A2 si possono avere perdite fino a 4 dB; con la classe A1 le perdite raggiungono i 7 dB.

3.2 Effetto del telaio

Fra i materiali più comunemente utilizzati nella realizzazione di telai per finestre, non si notano sensibili differenze nel comportamento acustico.

Rammentando la legge della massa, è sufficiente che questa non sia inferiore, in ogni suo punto, alla massa della lastra inserita. Particolare attenzione nel dimensionamento del telaio si dovrà quindi porre nel caso di strutture fortemente isolanti, con lastre di massa elevata.

Il telaio può esercitare un certo effetto sul fattore di perdita della lastra, che a sua volta influisce sul potere fonoisolante nella regione di coincidenza. Il calo di prestazione che avviene oltre la frequenza critica è tanto più vistoso quanto più è basso il fattore di perdita. Il valore indicato in precedenza (0.001) si riferisce alla lastra libera; nella realtà questo fattore dipende dalle condizioni ai bordi e sarà tanto più elevato quanto più sarà rigido il blocco della lastra sul telaio. In queste condizioni si potrà ottenere il miglior risultato acustico.

Un'idea quantitativa dell'influenza del fattore di perdita è fornita dal grafico di fig. 11 (valori calcolati).

4. Potere fonoisolante della facciata

Considerando la facciata nel suo complesso, vi sono ancora alcuni elementi che possono contribuire al risultato acustico finale.

Uno dei più importanti è il rapporto di superfici fra finestre e parete cieca. È stato detto all'inizio che la finestra rappresenta il punto debole della facciata. Il grafico di fig. 12 fornisce dati quantitativi sull'influenza di questo rapporto.

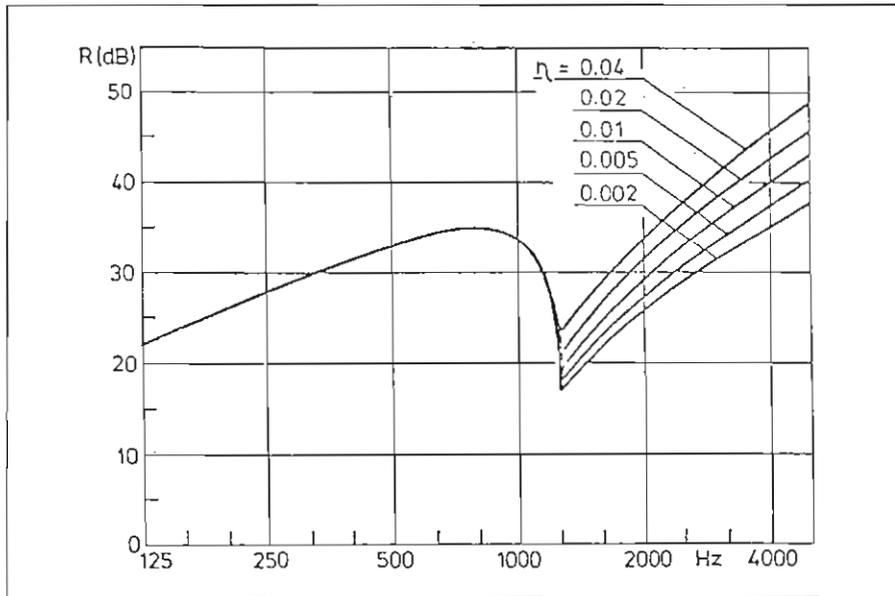
Si può osservare come nella maggior parte dei casi reali la protezione di un locale è data unicamente dalla finestra, ed in questa situazione è utile rammentare che il livello di rumore interno al locale stesso (L2) è dato da:

$$L2 = L1 - R + 10 \lg S - 10 \lg A \text{ (dB)}$$

in cui:

L1 è il livello di rumore esterno, in dB;
S è la superficie della finestra, in mq;
A è l'area equivalente di assorbimento acustico del locale, in mq.

Fig. 11 - Potere fonoisolante di una lastra di vetro monolitico da 10 mm per diversi valori del fattore di perdita (dati calcolati).



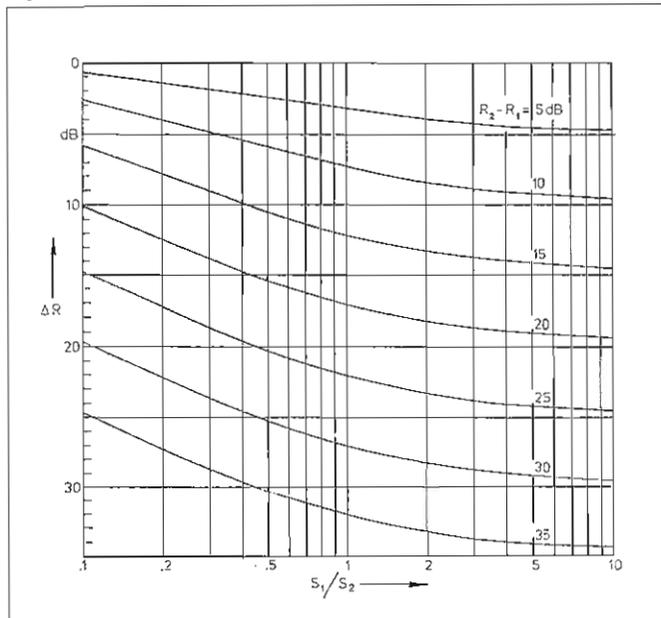
A parità di area d'assorbimento (che dipende soprattutto dall'arredamento) e di potere fonoisolante, il livello sonoro interno dipenderà quindi in assoluto dalla superficie della finestra. Un raddoppio della superficie produrrà un incremento del livello interno di 3 dB.

Considerato che nella gran maggioranza dei casi il rumore esterno è dovuto a traffico stradale, una certa im-

portanza assume anche l'altezza dell'edificio, che determina l'angolo d'incidenza del suono.

Con l'aumentare dell'altezza la finestra si allontana dalla sorgente e l'energia sonora che la investe diminuisce (salvo casi particolari). D'altra parte, aumentando l'angolo d'incidenza, diminuiscono le prestazioni. L'effetto è illustrato in fig. 13, che riporta dati sperimentali ricavati in laboratorio.

Fig. 12 - Potere fonoisolante di una parete composta.



Perdita isolamento ΔR di un elemento di parete cieca di superficie S_2 di potere fonoisolante R_2 , dovuta all'inserimento di un serramento di superficie S_1 e di potere fonoisolante R_1 , in funzione del rapporto fra le due superfici, per vari valori di $R_2 - R_1$. (Valori calcolati).

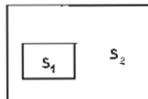


Fig. 14 - Schermatura acustica di balconi e logge.

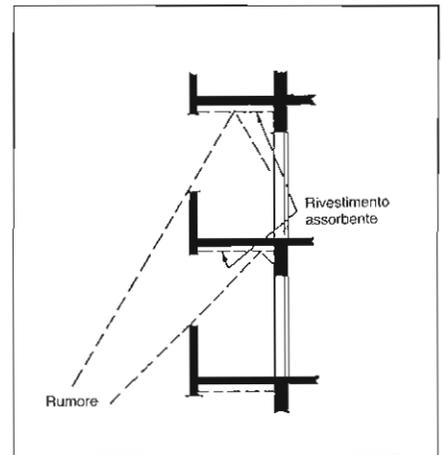


Fig. 15 - Schermatura acustica di attici rientranti.

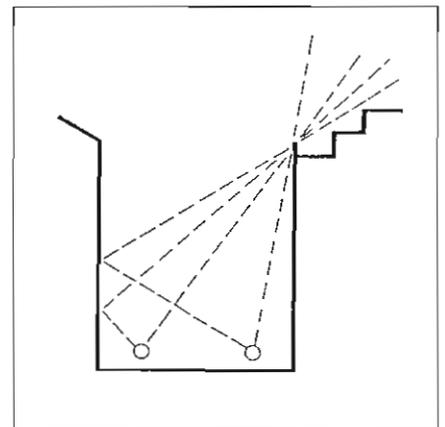
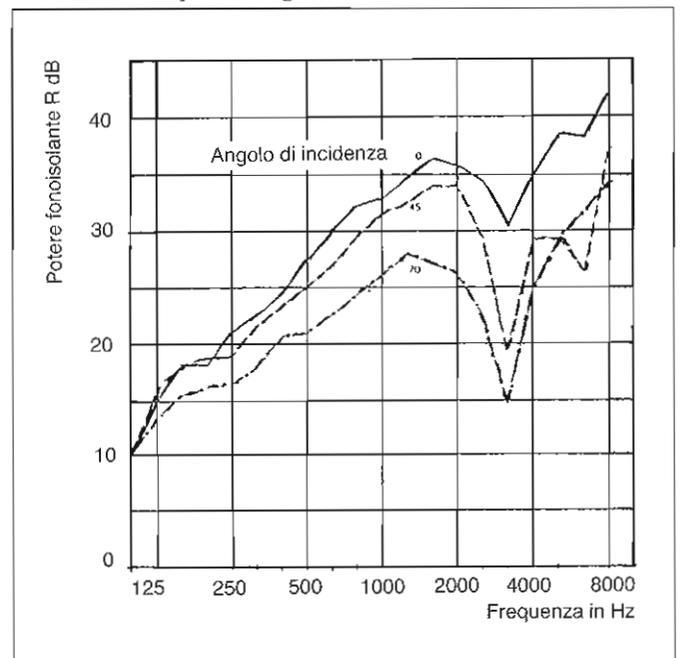


Fig. 13 - Potere fonoisolante sperimentale di una lastra di vetro monolitico da 4 mm per vari angoli di incidenza del suono.



rio su una lastra da 4 mm.

Pur tenendo conto che in laboratorio le condizioni vengono esaltate per meglio evidenziare il fenomeno, è bene rammentare che questo può, sia pure in parte, ridurre i vantaggi dei piani alti.

Sulla funzione acustica della facciata un ultimo cenno va dedicato alla forma. Alcuni elementi architettonici che compongono la facciata possono essere realizzati in modo da costituire un ostacolo alla propagazione sonora. In particolare, balconi e logge (fig. 14) possono costituire una schermatura, a condizione che abbiano una sufficiente profondità e che il soffitto della loggia non costituisca esso stesso un riflettore del suono.

Gli attici rientranti (fig. 15) offrono

una protezione, tanto maggiore quanto più l'arretramento è pronunciato.

5. Conclusioni

Risale ad una decina di anni fa l'elaborazione di una norma da parte della Commissione Edilizia dell'UNI sulla qualificazione acustica dei serramenti esterni (UNI 8204) che, oltre a stabilire i limiti numerici di classe, forniva indicazioni sui criteri di scelta da adottare in base alla prevista rumorosità esterna ed alle esigenze di comfort del locale cui il serramento era destinato.

I limiti di classe sono riportati in fig. 16. I criteri di scelta erano riportati su una tabella che può essere sintetizzata dal grafico di fig. 17; per tre classi di

esigenza ambientale venivano suggerite le prestazioni da richiedere ai serramenti in funzione del livello di rumore esterno.

Con l'esperienza degli anni più recenti si ritiene necessaria un'estensione verso l'alto delle classi di prestazione, atta a compensare l'incremento che si è verificato nei livelli di rumore esterni. Maggiori prestazioni possono richiedere, in termini pratici, il ricorso a strutture più complesse, come sono ad esempio i doppi telai, finora raramente utilizzate nel nostro Paese ma che potrebbero costituire, in situazioni ormai non più rare, l'unica soluzione accettabile. ■

Geom. Ermenegildo Brosio
(Libero professionista - Torino)

Fig. 16 - Classi di prestazione dei serramenti esterni (UNI 8204).

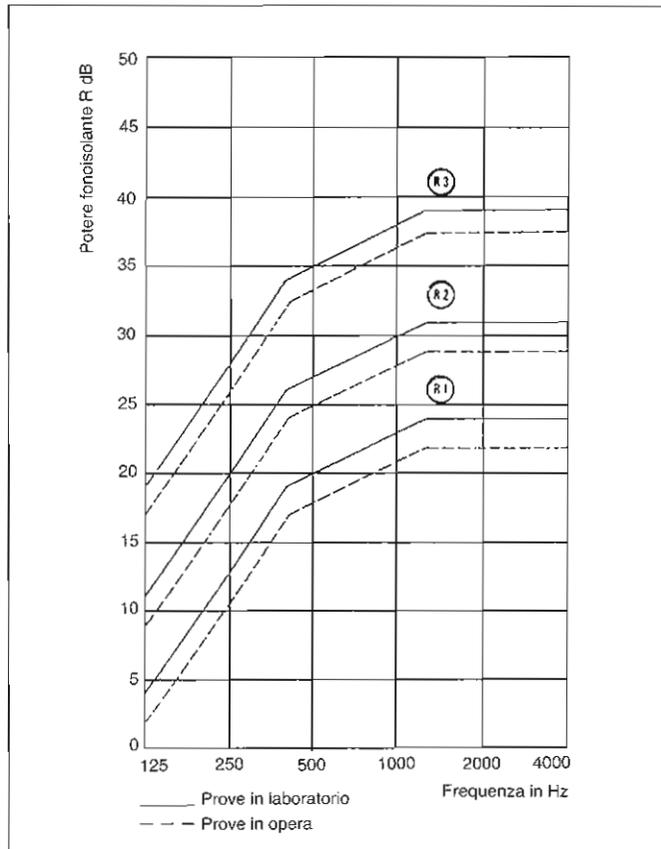
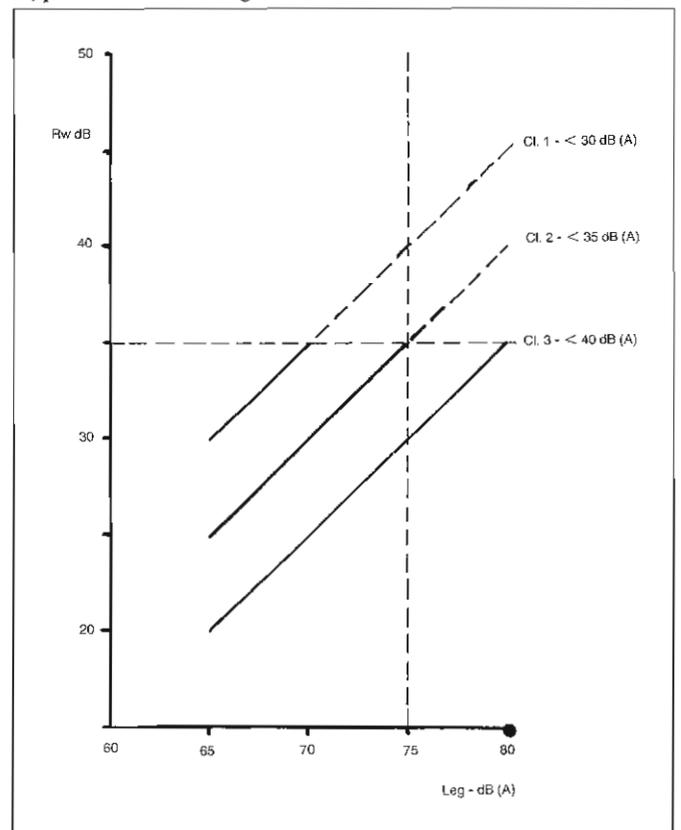


Fig. 17 - Prestazioni dei serramenti in funzione dei livelli sonori esterni, per varie classi di esigenza.



Una proposta innovativa per la risoluzione delle problematiche dei serramenti esterni: l'isolamento termodinamico

di
Marco Piana

L'edificio è stato da sempre progettato e realizzato con lo scopo di delimitare una zona definita «ambiente di vita o ambiente di lavoro» per l'uomo. L'ambiente creato ha soddisfatto le esigenze primarie di sicurezza e di microclima.

Oggi le esigenze sono cresciute ed a quelle primarie si sono aggiunte le esigenze complementari dovute alla limitazione dei consumi ed al miglioramento del comfort.

Quest'ultima motivazione è di particolare interesse per il corpo umano in quanto risulta essere correlata alla temperatura superficiale delle pareti delimitanti l'ambiente interno.

In particolar modo il corpo umano è influenzato dal ricambio d'aria e dalla temperatura di irraggiamento delle superfici trasparenti.

Attualmente, per ottimizzare la progettazione si tende a realizzare serramenti con superfici trasparenti limitate (in edifici di tradizionale impostazio-

ne) ed inoltre non vengono tenuti in giusta considerazione gli apporti energetici solari durante il periodo di riscaldamento.

Allo stato odierno delle ricerche, gli apporti solari sembrano avere un contributo certamente positivo. Una situazione usuale del comportamento dei serramenti è riscontrabile durante il periodo invernale, quando in alcune ore di insolazione, l'energia entrante è molto debole, mentre i sistemi di oscuramento, non essendo ancora utilizzati, fanno sì che la finestra si trasformi in

una causa di disperdimento energetico e di comfort negativo.

Per risolvere i problemi sopra elencati, e per ridurre i bisogni energetici di un edificio, si sono scelte tre strategie:

- minimizzare i disperdimenti;
- massimizzare i guadagni;
- ottimizzare i guadagni diurni con i disperdimenti notturni.

Alcuni dati significativi possono essere riferiti ai valori estremi di trasmittanza termica:

- serramenti: $2-3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- muratura: $0,2-0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

da cui si possono notare le differenze di un ordine di grandezza tra il valore di trasmittanza termica delle parti

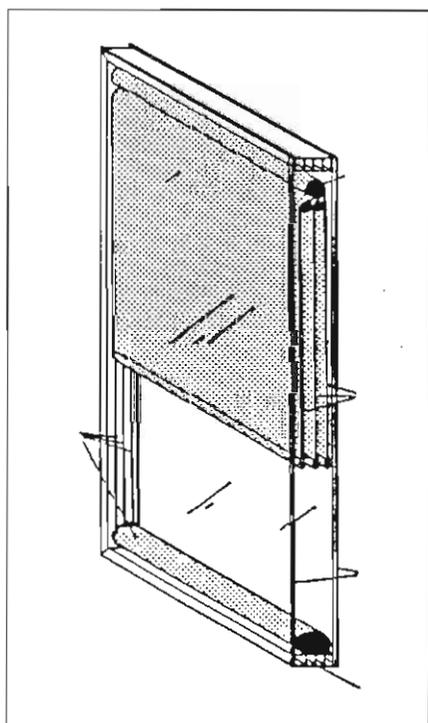


Fig. 1 - Schema globale del sistema.

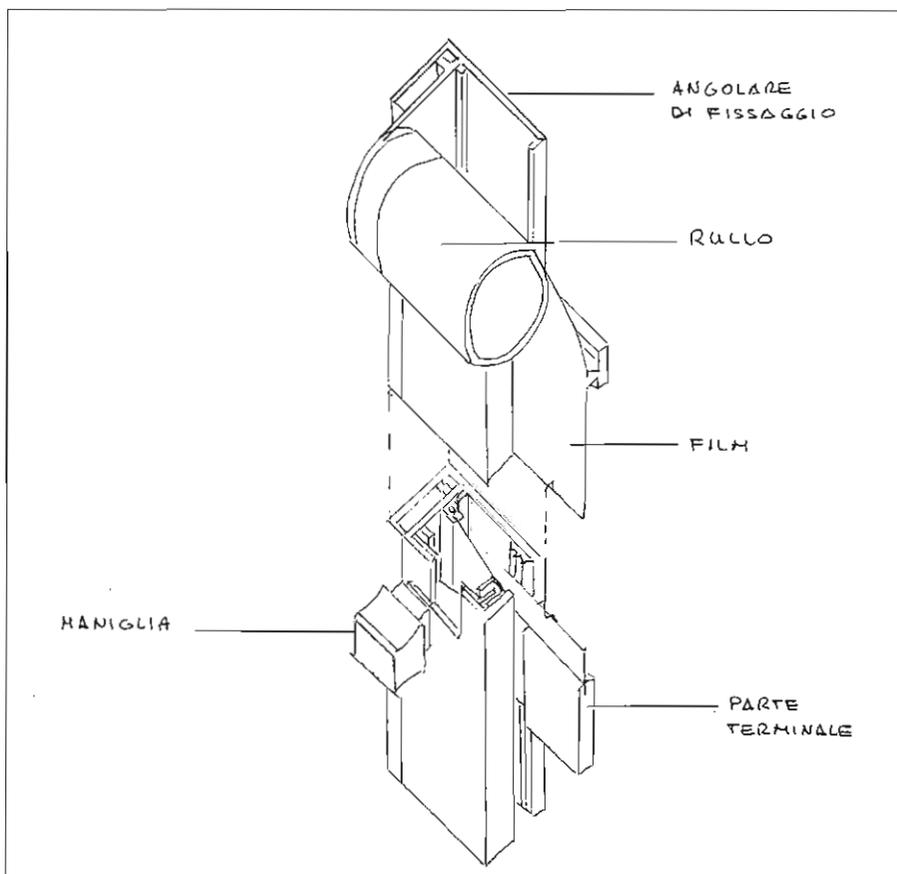


Fig. 2 - Particolare del profilo e del sistema di avvolgimento del film.

opache e trasparenti di una parete di tamponamento esterno.

Lo scopo, sottolineato dalle tre strategie sopra ricordate, è quello di assottigliare questa notevole differenza di trasmittanza termica in modo da giungere a risultati compatibili fra loro.

La seconda importante problematica è rappresentata dal ricambio d'aria che oggi si presenta come una necessità sempre più sentita e con caratteristiche sempre più diversificate.

Una tecnologia che permette di ottenere una risposta positiva sia alla riduzione dei consumi energetici sia alla personalizzazione del ricambio d'aria è rappresentata dall'isolamento dinamico.

Anche in questo caso si sono identificate tre linee strategiche di identificazione del sistema:

- minimizzare le dispersioni dovute alle infiltrazioni d'aria;
- regolazione dei ricambi d'aria nei tempi e nelle quantità desiderate;
- migliorare il comportamento globale e, in particolare, energetico del serramento.

Il sistema innovativo proposto possiede le seguenti caratteristiche:

- il serramento presenta un coefficiente di trasmissione termica di valore comparabile a quello presentato dai tamponamenti opachi;
- buona trasmissione luminosa;
- energia radiativa entrante e uscente in quantità regolabile (in modo limitato);
- eliminazione dei punti termici nel telaio del serramento;
- regolazione del ricambio d'aria;
- annullamento delle infiltrazioni indesiderate;
- lunga durata agli agenti atmosferici con riduzione degli oneri di manutenzione.

Lo schema dell'elemento con le suddette caratteristiche è riportato in figura 1.

Per soddisfare le esigenze di qualità meccaniche di resistenza al vento, alla pioggia battente, di tenuta all'aria e di creare un buon isolamento termico, il telaio è stato progettato con particolari profili in PVC di notevole spessore.

Questo materiale permette di abbinare ad elevate caratteristiche (similmente ad un serramento tradizionale) forme geometriche molto evolute ed interessanti.

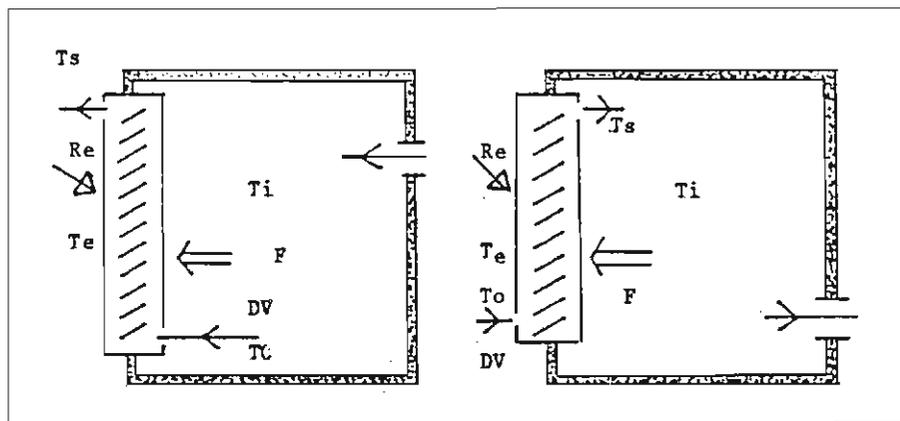


Fig. 3 - Schema di funzionamento del ventilatore interno.

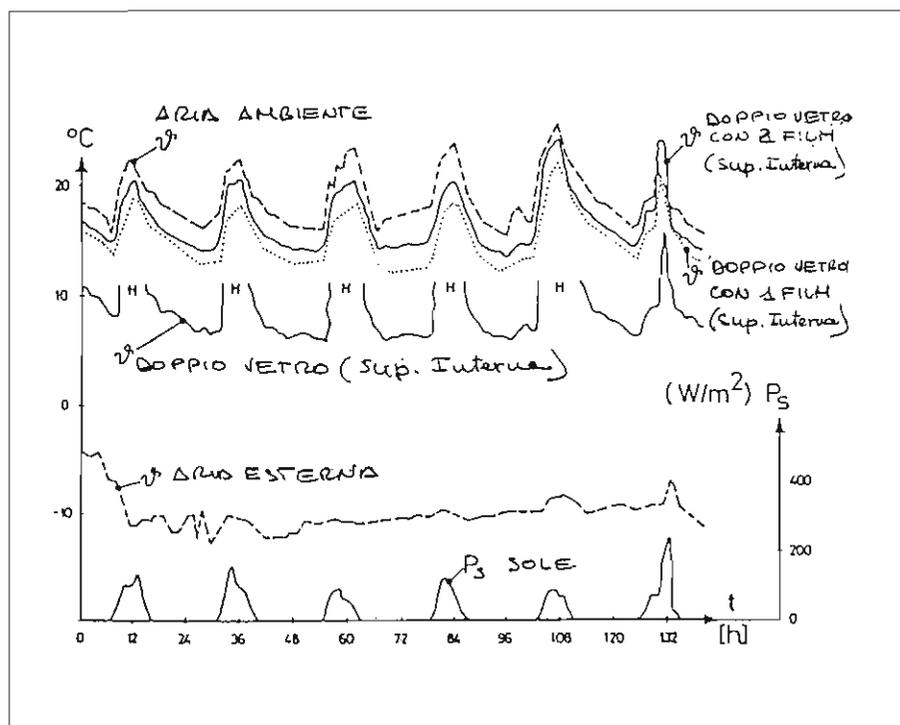


Fig. 4 - Diagramma sperimentale temporale della temperatura dei diversi componenti.

Il particolare profilo, riportato in fig. 2, permette di garantire le caratteristiche dell'intero sistema sopra riportato.

La parte trasparente è stata realizzata con un doppio vetro contenente un particolare film di alta qualità.

Questo possiede caratteristiche tali da essere trasparente alla luce solare entrante e riflettente all'energia radiativa emessa dall'interno dell'ambiente; inoltre può essere avvolto su apposito rullo ed essere sostituito con films di altra natura senza particolari movimentazioni da parte dell'utente. In fig. 2 è anche riportato lo schema derivante dallo studio di progettazione del si-

stema di avvolgimento e di tesatura del film e/o dei films con differenti proprietà.

Da ultimo, il sistema permette di prelevare e/o immettere una predeterminata quantità di aria che transita attraverso il complesso di superfici trasparenti.

Lo schema di funzionamento riportato in fig. 3 evidenzia come l'aria possa provenire dall'esterno o dall'interno con un duplice funzionamento:

- a) isolamento dinamico: la ventilazione con l'aria di estrazione provoca una diminuzione del coefficiente di trasmissione termica;
- b) preriscaldamento: l'aria di rinnovo

vo può essere preriscaldato transitando all'interno dell'intercapedine trasparente senza aumentare sensibilmente il coefficiente di trasmissione termica.

Il sistema proposto è stato realizzato, con una configurazione sperimentale assimilabile a quella sommariamente descritta, in alcuni paesi europei con sorprendenti risultati anche al variare delle condizioni climatiche.

Dati significativi vengono riportati in fig. 4 (diagrammi di temperatura), fig. 5 (schemi dei flussi di trasmissione termica), fig. 6 (rendimento di captazione e di trasmissione solare in funzione del grado di ventilazione richiesto).

I dati vengono riportati unicamente per completare il quadro generale del problema.

È quindi possibilistica l'ipotesi di realizzazione di un serramento *intelligente*, come oggi si definisce un componente per l'edilizia che permette di seguire le esigenze dell'utilizzatore e di evitarne gli stati di insofferenza microclimatica.

Il serramento compirebbe quindi un terzo passo importante: da semplice elemento a componente a sistema ed ora a sistema interattivo.

Questo fatto potrà creare e sviluppare il processo progettuale dell'intero edificio in modo da poter correlare l'impianto di riscaldamento con l'im-

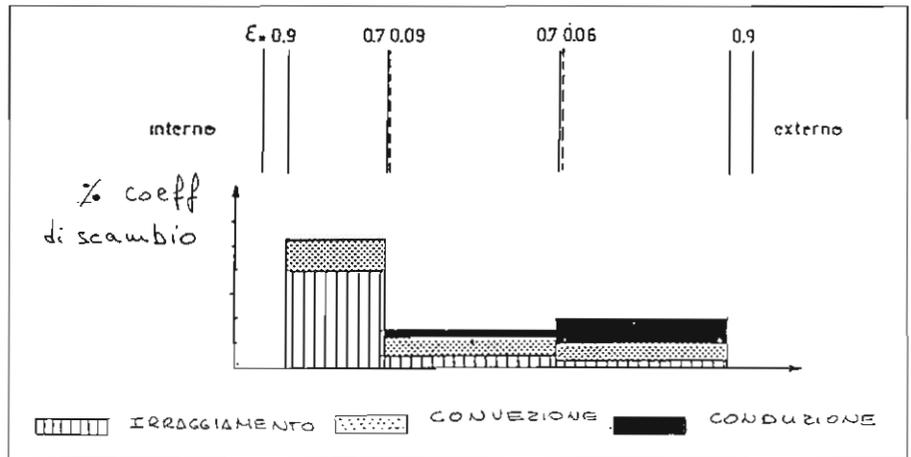


Fig. 5 - Schema dei flussi di trasmissione termica con due film nell'intercapedine tra i 2 vetri.

Fig. 6 - Tabella sperimentale di comparazione tra la portata d'aria entrante, il rendimento di captazione e la trasmissione solare.

Portata aria kg/h (Q)	19,4	39,3	52,5	79,7	100
Rendimento di captazione (Rc)	0,082	0,195	0,208	0,281	0,312
Trasmissione solare (Ts)	0,369	0,385	0,383	0,289	0,268

$$Rc = \frac{Q \cdot Cp \cdot (Ts - To)}{\text{Irraggiamento globale}};$$

$$Ts = \frac{\text{Flusso entrante}}{\text{Irraggiamento globale}}$$

pianto di illuminazione ed il sistema in esame.

Un'analisi approfondita giustificerebbe un'intera e corposa relazione con risultati teorici e numerici che in

questa sede vengono rimandati a più ampi spazi e discussioni. ■

Ing. Marco Piana
(Libero professionista)

La scadenza del 1992: l'attività normativa per i serramenti

La Normativa di principale interesse per l'Associazione dei serramenti di PVC è anzitutto quella relativa al prodotto. Per il PVC rigido (senza plastificante) è stata pubblicata la norma

UNI-ISO 1163

sulla Designazione delle mescole (compound).

Per esempio: PVC-U 080-50-30, per un PVC con Vicat di 80 °C, massa volumica tra 1,45 e 1,55 e modulo elastico a flessione di 300 MPa.

In ambito nazionale ci sono quindi due norme sui profilati PVC:

- UNI 8772 per le persiane avvolgibili;
- UNI 8648 per i profilati per serramenti;

cui si aggiunge la UNI 8649 sui Metodi di prova generali.

Queste norme si accordano bene con analoghe direttive UEATC/1978 a

di
P. Gugliemmo

livello europeo (MEC), ora in corso di aggiornamento per essere presentate al CEN perché diventino Norme Europee (EN). L'aggiornamento interessa principalmente la valutazione della resistenza all'invecchiamento agli agenti atmosferici esterni, e la valutazione della saldabilità.

Per il manufatto finito esistono poi le prove (prestazionali) riguardanti i serramenti, normalizzate dalle

- UNI 7518, 7519, 7520, 7521, 7522, 7524, 7525;
- UNI EN 42, 77, 78, 86, 107;
- UNI 7979 e UNI 8204 con alcuni criteri di classificazione del serramento;

— UNI ISD 3008 sulle prove di resistenza al fuoco.

Tutte le norme indicate (v. elenco allegato) sono in accordo o derivate da norme ISO, quindi in linea di massima adottabili in CEN.

Evoluzione a livello Europeo

In vista della scadenza del 1992, termine previsto per l'apertura dei mercati tra i Paesi europei CEE e EFTA, si è intensificata l'attività del Comitato Europeo di Normazione (CEN). Questo specialmente nel campo dell'Edilizia, con lo scopo di armonizzare le specifiche d'impiego per i diversi prodotti, già in vigore in alcuni Paesi. Si possono qui citare il TC 117 per l'impermeabilizzazione con foglie sintetiche; TC 155 per i tubi e raccordi di plastica;

Normative sui serramenti

Italia - La normativa italiana sull'argomento è stata emanata dall'UNI e dall'organo associato Uniplast per ciò che riguarda i prodotti in materiale plastico. Inoltre sono state accettate le norme europee (EN) e trasformate in UNI-EN per le prove di tipo funzionale.

L'elenco delle normative vigenti è riportato nello schema seguente:

- UNI 7518 - Criteri generali per l'elaborazione di norme basate sulle esigenze dell'utenza.
- UNI 7519 - Lista di controllo delle richieste di prestazioni.
- UNI 7520 - Criteri generali per la definizione dei metodi di prova e di controllo delle prestazioni.
- UNI 7521 - Termini e definizioni relative alle prove e controlli delle prestazioni.
- UNI 7522 - Tenuta all'acqua.
- UNI 7524 - Resistenza alle sollecitazioni derivanti dall'utenza normale.
- UNI 7525 - Sequenza normale per l'esecuzione di prove funzionali.
- UNI 7143 - Spessore dei vetri piani per vetratura in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico di neve.
- UNI 7144 - Vetri piani. Isolamento termico.
- UNI 7170 - Vetri piani. Isolamento acustico.
- UNI-EN 42 - Prova di permeabilità all'aria.
- UNI-EN 77 - Prove di resistenza al vento.
- UNI-EN 78 - Presentazione del resoconto di prova.
- UNI-EN 86 - Prova di tenuta all'acqua sotto pressione statica.

UNI-EN 107 - Prove meccaniche.

UNI 7979 - Serramenti esterni (verticale). Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento.

UNI 8204 - Serramenti esterni. Criteri di classificazione e scelta relativi alle prestazioni acustiche.

UNI 8772 - Profilati in PVC rigido per persiane avvolgibili. Tipi e caratteristiche.

UNI 6214-68 - Idem. Metodi di prova.

UNI 7351-74 - Mescolanze non plastificate di omopolimero e di copolimeri del cloruro di vinile. Sistema di classificazione.

UNIPLAST 392

UNI 8648 - Profilati in PVC rigido per serramenti requisiti.

UNIPLAST 393

UNI 8649 - Profilati in PVC rigido per applicazioni edilizie, metodi di prova generali.

CNR-UNI 10012 - Ipotesi di carico sulle costruzioni.

UNI 7357 - Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici.

Legge 373 30/1/1976

UNI 7320 - Prove su elastomeri.

CSE RF2/RF3 - Reazione al fuoco dei materiali.

Circolare 91 - Resistenza al fuoco dei materiali.

UNI-ISO 3008 - Prove di resistenza al fuoco (serramenti).

UNI-ISO 3009 - Prove di resistenza al fuoco (vetro).

UNI 7678 - Elementi costruttivi, prove di resistenza al fuoco.

TC 99 per le carte da parati;
 TC 134 per i pavimenti resilienti;
 TC 163 per i sanitari;
 TC 164 per l'adduzione dell'acqua (potabile);
 TC 165 per gli scarichi dell'acqua;
 TC 33 per le porte e le finestre.

Il TC 33 di interesse più diretto per quanto si va esponendo, si suddivide a sua volta in:

Gruppo di lavoro 1 «Finestre», segretariato DIN;

Gruppo di lavoro 2 «Porte», segretariato UNI;

Gruppo di lavoro 3 «Chiusure» (fermetures), segretariato AFNOR;

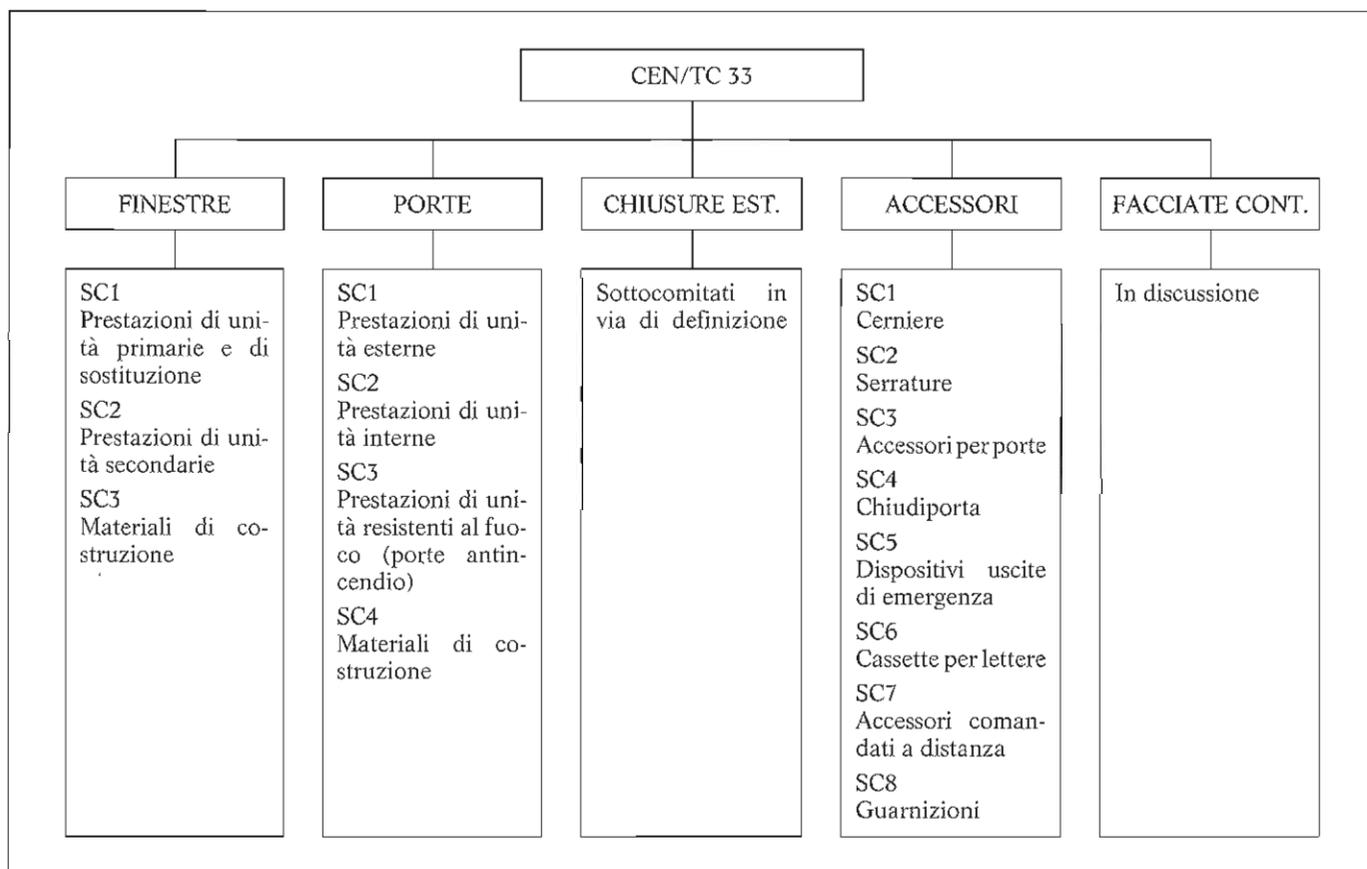
Gruppo di lavoro 4 «Accessori», segretariato BS.

È da sottolineare che questi Comitati Tecnici ed i relativi Gruppi di lavoro dovranno produrre in tempi brevi le specifiche applicative armonizzate dei prodotti, mentre non saranno in discussione i metodi di prova, che in-

vece dovranno essere ripresi dalle norme ISO già esistenti.

Le specifiche corredate dai relativi metodi di prova serviranno di base per il mutuo riconoscimento delle Certificazioni dei Sistemi di Qualità, così come previsto dalle norme ISO 9000, già tradotte in UNI EN 29000. ■

Dott. P. Guglielmo
 (E.V.C. Italia)



Criteri per la posa in opera dei serramenti di PVC

di
Franco Paoli

A. Modalità di ordine generale

Prima di procedere all'accordo di fornitura dei serramenti il fornitore dovrà accertare tutti gli elementi che influiranno su una corretta posa in opera degli stessi e sugli oneri che questa posa dovrà comportare.

Il rilievo delle misure in cantiere rappresenta una prima fase iniziale che condizionerà il futuro lavoro di posa.

Ma dovranno essere verificati anche i seguenti punti:

- progetto dell'edificio e dell'abaco dei serramenti e loro corrispondenza;
- possibilità di accesso ai vari piani;
- eventuale disponibilità di impalcature esterne;
- eventuale disponibilità di mezzi di sollevamento;
- tipo, forma e posizione dei bancali esterni ed interni;
- tipo di finitura della muratura;
- tipo e caratteristiche dell'eventuale cassonetto, della persiana avvolgibile o della persiana tradizionale;
- tipo dei vetri;
- tipo e senso di apertura delle finestre;
- tipo di fissaggio delle finestre alla muratura;
- disposizioni particolari di posa in relazione ad alti gradi di isolamento acustico;
- disposizioni particolari di posa in relazione ad alti prevedibili valori di dilatazione termica.

B. Calcolo delle dilatazioni termiche

Come è noto la dilatazione termica lineare dei profilati in PVC è superiore a quella degli altri materiali tradizionalmente usati per la costruzione di serramenti esterni (legno o alluminio).

Questa circostanza dovrà essere tenuta nella dovuta considerazione nella progettazione e nella posa in opera dei serramenti, soprattutto ove si tratti di elementi di grande dimensione o di finestre a nastro.

Il valore di questo coefficiente ammonta mediamente a 7×10^{-5} cm/cm °C, ciò che equivale a 0,07 mm di allungamento o accorciamento di 1 m di profilato per ogni grado C di aumento o diminuzione della temperatura.

Tralasciando i profilati di colore scuro, che ormai non vengono più prodotti dalle aziende più qualificate, esamineremo il comportamento dei profilati di colore bianco.

Si precisa anzitutto che il valore di dilatazione termica sopra indicato è puramente teorico e riferibile ad un profilato sottoposto a un riscaldamento uniforme e completo e in completa assenza di ventilazione: esso rappresenta quindi una pura caratteristica del materiale e non potrà essere assunto a base dei calcoli relativi a finestre montate in opera, dove la situazione si presenta ben diversa.

La finestra in opera si differenzia infatti per i seguenti motivi:

1) la temperatura di riferimento, relativamente al calcolo della dilatazione, dovrà essere ricavata quale media dei valori della temperatura superficiale sul lato esterno e sul lato interno dei profilati.

2) per quanto riguarda il telaio fisso della finestra esso si troverà a contatto con la muratura circostante, e il suo comportamento sarà quindi influenzato da questa situazione. Dilatazioni e ritiri del telaio fisso avranno valori corrispondenti a circa 2/3 di quelli teorici, come è dimostrato da esperienze pratiche.

3) Il battente invece agirà senza condizionamenti e potrà muoversi liberamente. Ed è per questo motivo che, mentre non sussistono impedimenti nella costruzione di elementi di finestra anche molto grandi e comprendenti parti fisse e mobili, le dimensioni dei singoli battenti presentano determinati limiti, come indicato da ogni produttore di profilati.

Ciò premesso il calcolo delle dilatazioni e dei ritiri dei telai fissi dovrà basarsi sui seguenti parametri:

- un profilato esposto alle radiazioni solari può toccare una temperatura superficiale esterna di circa 44 °C;
- si potrà ammettere, per situazioni medie climatiche italiane, una temperatura minima esterna di circa -16 °C;
- la temperatura interna nell'ambiente potrà essere fissata convenzionalmente in +20 °C, considerate le piccole variazioni fra l'inverno e l'estate;

— ciò significa che la temperatura media, nella mezzera del

profilato può salire a $\frac{20^\circ + 44^\circ}{2} = 32^\circ \text{C}$ d'estate e può scendere a $\frac{20^\circ - 16^\circ}{2} = 2^\circ \text{C}$ in inverno.

Ciò precisato rimane evidente che il valore delle dilatazioni e dei ritiri dipenderà unicamente dal valore della temperatura alla quale il serramento viene posto in opera. Facendo riferimento a due situazioni estreme di freddo e di caldo, nonché ad una situazione media, si otterranno i seguenti risultati:

a) situazione di minima temperatura relativa alla posa in opera: 0 °C.

In questo caso si dovrà prevedere una dilatazione massima di $32^\circ - 0^\circ = 32^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 2,24 \text{ mm} \times 2/3 = 1,49 \text{ mm/m}$ ed un ritiro massimo di $2^\circ - 0^\circ = 2^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 0,14 \text{ mm/m} \times 2/3 = 0,09 \text{ mm/m}$;

b) situazione di massima temperatura relativa alla posa in opera: +30 °C.

In questo caso si dovrà prevedere una dilatazione massima di $32^\circ - 30^\circ = 2^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 0,14 \text{ mm/m} \times 2/3 = 0,09 \text{ mm/m}$ ed un ritiro massimo di $2^\circ - 30^\circ = 28^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 1,96 \text{ mm/m} \times 2/3 = 1,30 \text{ mm/m}$;

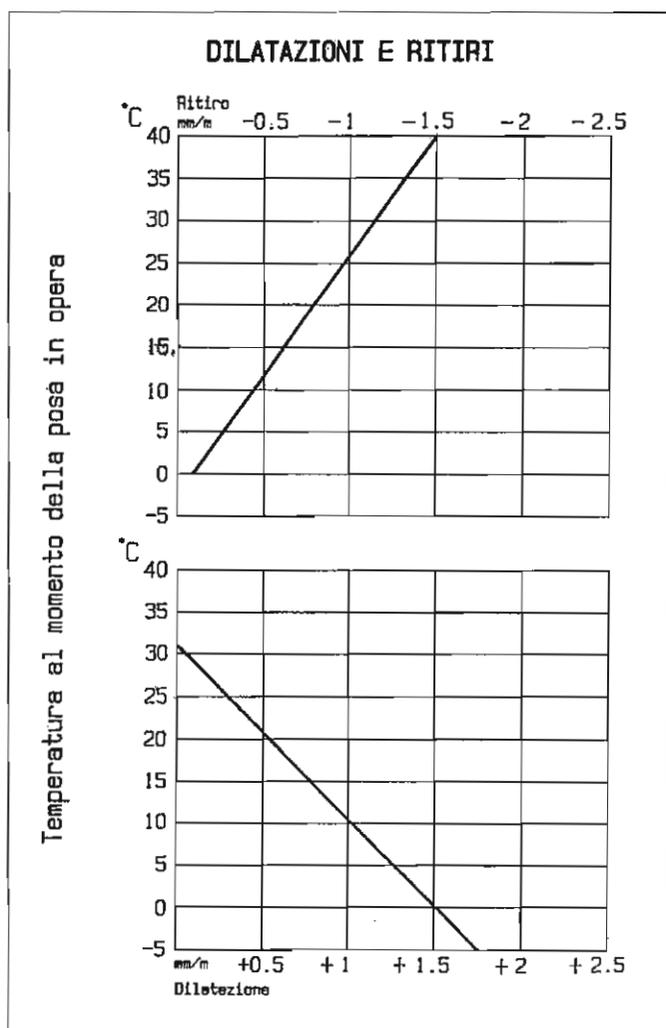


Grafico 1

c) situazione di temperatura media, al momento della posa in opera: +18 °C.

In questo caso si dovrà prevedere una dilatazione massima di $32^\circ - 18^\circ = 14^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 0,98 \text{ mm/m} \times 2/3 = 0,65 \text{ mm/m}$ ed il ritiro massimo potrà toccare $2^\circ - 18^\circ = 16^\circ \times 0,07 \text{ mm} = 1,12 \text{ mm/m} \times 2/3 = 0,75 \text{ mm/m}$.

Riassumendo si hanno i seguenti prevedibili valori di dilatazione e di ritiro dei profilati nelle 3 situazioni:

- messa in opera a 0 °C: dilatazione 1,49 mm/m, ritiro 0,09 mm/m;
- messa in opera a +30 °C: dilatazione 0,09 mm/m, ritiro 1,30 mm/m;
- messa in opera a +18 °C: dilatazione 0,65 mm/m, ritiro 0,75 mm/m.

Questi risultati inducono a trarre le seguenti considerazioni finali:

- al fine di contenere valori di dilatazione dei serramenti si dovrà evitare di porre in opera detti serramenti a temperature troppo basse;
- mettendo in opera i serramenti in un momento in cui la temperatura è superiore +10 °C le dilatazioni prevedibili non supereranno il valore di 1 mm/m.

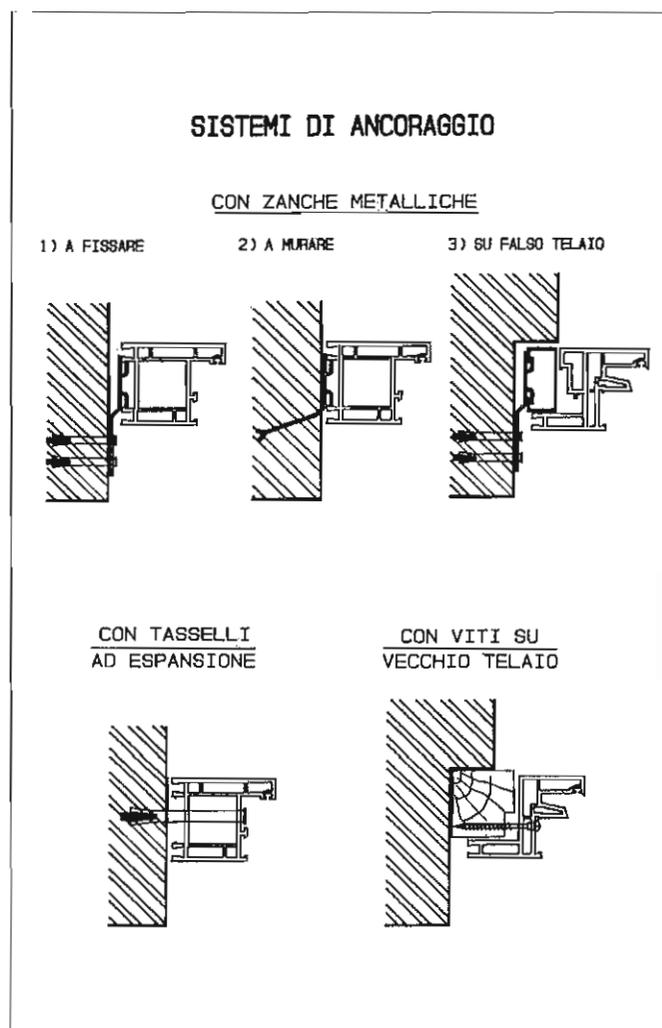


Grafico 2

Con l'aiuto del grafico n. 1 sarà facile ricavare i valori delle dilatazioni e dei ritiri prevedibili, in modo che le finestre possono essere posate in opera con giunti di dilatazione correttamente dimensionati.

C. Indicazioni per la posa in opera

1. Ancoraggio a muro

L'ancoraggio dei serramenti alla muratura è realizzabile principalmente attraverso 4 diversi sistemi:

- ancoraggio con zanche metalliche a fissare o a murare;
- ancoraggio con tasselli a espansione;
- ancoraggio su falso telaio, con apposite viti;
- ancoraggio su vecchio telaio (rinnovamento).

Il grafico n. 2 illustra le quattro possibilità.

È da tener presente che i punti di ancoraggio non devono distare più di 70 cm uno dall'altro e che inoltre essi devono distare circa cm 15 dagli angoli del serramento e dai punti di incontro del telaio fisso con traverse o piantoni.

Gli elementi verticali dei telai dovranno comunque disporre di almeno due punti di ancoraggio a muro.

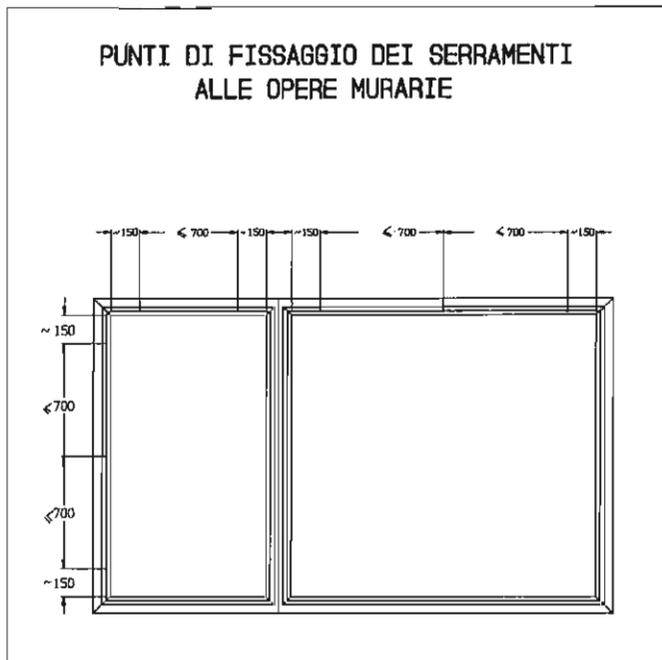


Grafico 3

La disposizione dei punti di ancoraggio è illustrata dal grafico n. 3 e n. 3/1.

D. Funzione dei giunti

Oltre alla funzione di assorbire le dilatazioni termiche del serramento e i movimenti della muratura (dovuti soprattutto al traffico stradale ed alla spinta del vento) i giunti dovranno essere conformati con determinati criteri anche ai fini di risolvere i problemi relativi alle due diverse situazioni climatiche dell'ambiente interno (colore e umidità dell'aria) e dell'atmosfera esterna (vento, pioggia e freddo).

Per quanto riguarda gli eventi dell'ambiente interno il giunto dovrà essere conformato in modo tale da evitare sia la formazione di condensa nella zona del giunto stesso, sia la perdita di calore, mentre per quanto riguarda la situazione esterna esso dovrà proteggere dal freddo, nonché dalle filtrazioni dell'aria e dell'acqua.

E. Materiali isolanti e sigillanti

Per conseguire un buon isolamento si raccomanda di riempire il giunto fra telaio e muratura con schiuma elastica di poliuretano, oppure con lana di roccia o di vetro.

A proposito della schiuma di poliuretano è preferibile quella a due componenti, che può raggiungere densità maggiori (15-20 kg/mc).

Occorre verificare però che l'applicazione di questa schiuma non comporti una deformazione del telaio.

Per quanto riguarda le lane minerali esse presentano buoni vantaggi soprattutto quando è in gioco l'isolamento acustico, a motivo del loro alto peso specifico (50 e più kg/mc).

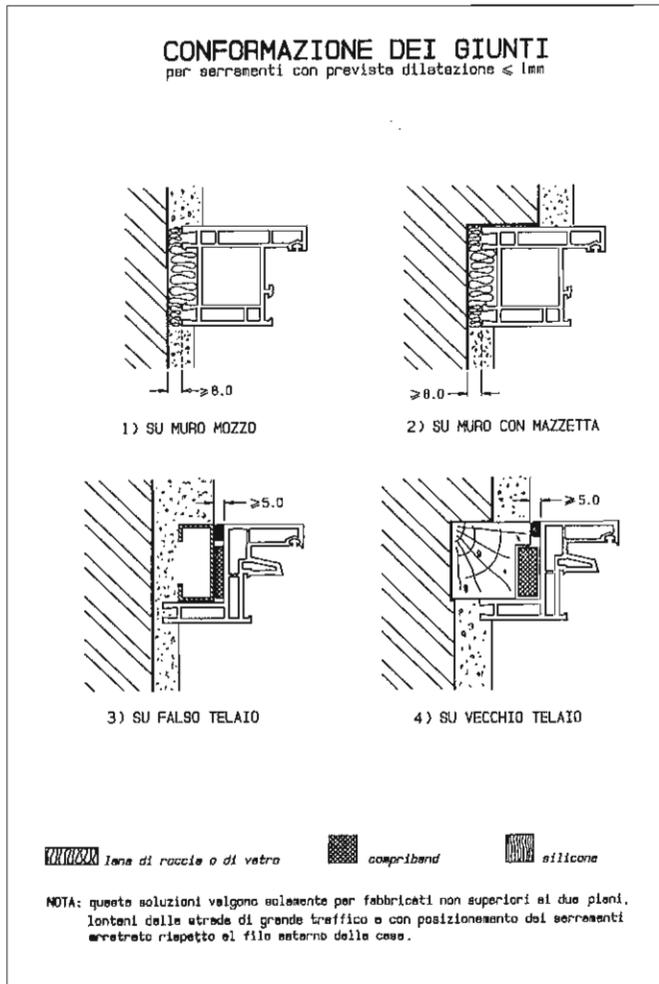


Grafico 4

Un prodotto che assolve ai due compiti di isolamento e di sigillatura è quello costituito da nastri o cordoni di materiale permanentemente elastico e facilmente comprimibile del tipo Compriband.

Questi nastri e cordoni sono disponibili sul mercato in varie misure di larghezza e di spessore o di diametro e si adattano facilmente ad ogni situazione.

Esistono sul mercato sigillanti a base di polisolfuri e poliuretani, ma nella pratica corrente le sigillature vengono eseguite con siliconi.

Oltre alla qualità del silicone, una buona operazione di sigillatura è dovuta anche ai seguenti fattori:

- una buona aderenza del silicone, che si ottiene soprattutto con l'uso di un primer;
- una sufficiente superficie di aderenza del silicone;
- superfici di aderenza asciutte e pulite.

F. Dimensionamento e conformazione dei giunti

Ai fini della posa in opera si individuano tre diverse categorie di serramenti, di cui si è individuata la possibile dilatazione termica:

- serramenti con prevista dilatazione inferiore a 1 mm;
- serramenti con prevista dilatazione compresa fra 1 e 4 mm;
- serramenti con prevista dilatazione superiore a 4 mm.

Ognuna di queste categorie potrà inoltre essere posata in quattro diverse e principali situazioni, relativamente alla conformazione della muratura:

- posa in opera su muro mozzo (senza mazzetta);
- posa in opera su muro con mazzetta;
- posa in opera su falso telaio;
- posa in opera su vecchio telaio di legno (rinnovamento).

a) Serramenti con prevista dilatazione inferiore a 1 mm

Il sistema più elementare per la posa in opera di questi serramenti è quello di murarli direttamente in opera, senza ricorrere a materiali sigillanti, ma affidando la tenuta interna ed esterna all'intonaco.

Questo sistema può essere ammesso esclusivamente quando siano presenti le seguenti condizioni:

- edificio non superiore a 2 piani;
- edificio lontano da strade di traffico;
- posizione dei serramenti arretrata rispetto al filo esterno della casa.

La funzione di isolamento sarà ottenuta interponendo fra telaio fisso e muratura uno strato di materiale isolante (lana di roccia o di vetro, oppure poliuretano espanso).

Considerata la modesta dilatazione prevista si tratterà inoltre, in questo caso, di elementi di finestra di dimensioni limitate. La larghezza del giunto sarà di almeno 8 mm.

Il grafico n. 4 illustra i criteri di posa nelle varie situazioni.

b) Serramenti con prevista dilatazione da 1 a 4 mm

In questo caso, che è molto frequente, la posa dovrà essere eseguita con particolari accorgimenti, sia per tener conto della prevista notevole dilatazione, sia per far fronte alle sollecitazioni delle opere murarie (vibrazioni dovute al traffico stradale e movimenti relativi alle spinte del vento), sia per l'eventuale posizione del serramento verso l'esterno della muratura, a diretto contatto con la pioggia battente e con le raffiche di vento.

Per quanto riguarda la funzione di isolamento, le disposizioni da osservare non sono diverse dal precedente caso. La larghezza minima del giunto ammonterà però ad un minimo di 15 mm e la sigillatura sarà sistematicamente costituita da un nastro o da un cordone tipo compriband e sarà completata da un adeguato cordolo di silicone.

Il grafico n. 5 riporta i sistemi di posa in opera dei serramenti in relazione alle varie situazioni di attacco a muro.

Conformazione dei giunti per serramenti con prevista dilatazione > 4 mm

Questa situazione riguarda elementi di finestra molto grandi, comprendenti parti fisse e parti apribili, oppure la classica soluzione delle finestre a nastro.

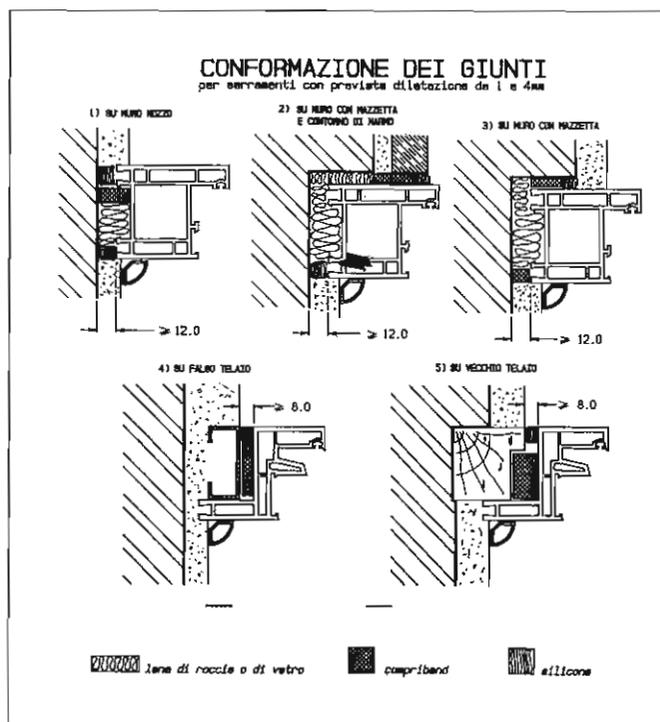


Grafico 5

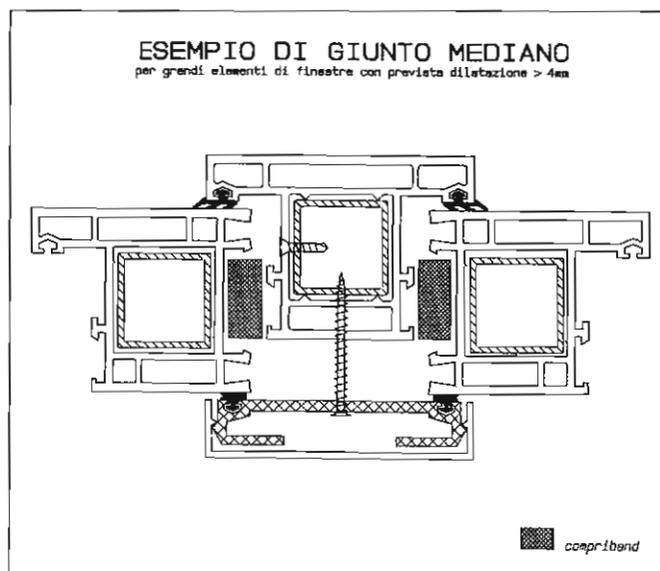


Grafico 6

In questi casi non si possono affidare le grandi dilatazioni termiche all'azione dei giunti esterni, ma si devono dividere i grandi elementi in elementi parziali, da accoppiare attraverso giunzioni che consentano ampi movimenti. Queste giunzioni sono risolte da vari produttori di profilati con diverse soluzioni.

Infine, il grafico n. 6 illustra una di queste soluzioni. ■

Il problema della condensa nei serramenti esterni

di
Marco Masoero

1. Introduzione

La tecnologia dei serramenti esterni ha conosciuto, negli ultimi dieci-quindecimenni, una significativa evoluzione per quanto riguarda i materiali utilizzati, i metodi di progettazione e la verifica delle prestazioni in opera.

Tale evoluzione ha trovato nel risparmio energetico un fattore trainante fondamentale, fattore che ha tra l'altro influenzato in senso complessivo il processo di progettazione e realizzazione dei sistemi edilizi ed impiantistici.

Occorre peraltro sottolineare come l'evolversi della tecnologia edilizia nell'ultimo quindicennio non sia stato sempre lineare e come risposte errate o parziali a esigenze basilari di risparmio energetico siano state talvolta causa di grandi problemi tecnologici o di un peggioramento della qualità ambientale interna: il fenomeno della condensa nei serramenti esterni, oggetto di questa memoria, è un esempio probante in tal senso.

2. Il fenomeno della condensa artificiale

L'aria ambiente è costituita, come noto, da una miscela di aeriformi che possono essere raggruppati, ai fini dello studio dei problemi di climatizzazione ambientale, in due soli costituenti: l'aria secca e il vapore d'acqua. Una miscela di aria secca e vapore d'acqua è definita «aria umida».

Le proprietà termodinamiche dell'aria umida possono essere utilmente rappresentate in forma grafica tramite un diagramma di stato, detto «diagramma psicrometrico»: in Italia il diagramma psicrometrico più utilizzato è probabilmente il diagramma di Mollier (fig. 1), anche se si sta progressivamente diffondendo l'uso di altri diagrammi di origine americana (Carrier, Ashrae). Tramite un diagramma psicrometrico è possibile ricavare le principali proprietà termodinamiche dell'aria umida (titolo, temperatura, umidità relativa ed entalpia), nota una

coppia qualsiasi delle proprietà.

Esistono due tipologie fondamentali di fenomeni di condensa: la formazione di condensa all'interno di un componente edilizio permeabile al vapore (pareti in muratura, solette di copertura, elementi strutturali, ecc.), oppure la condensa sulla superficie del componente; nel caso dei serramenti è quest'ultimo il fenomeno che interessa, poiché i materiali che costituiscono il serramento sono sostanzialmente impermeabili al vapore.

La condensa superficiale si forma quando la temperatura di una qualsiasi superficie a contatto con l'aria ambiente risulta minore o uguale alla temperatura di rugiada corrispondente alle condizioni termigrometriche interne. A parità di condizioni interne ed esterne, la temperatura superficiale dipende esclusivamente dalle caratteristiche e dalle modalità di installazione del serramento; a loro volta le condizioni interne, a parità di condizioni esterne, dipenderanno sia dal tasso di produzione di vapore d'acqua internamente all'ambiente (funzione del numero e delle abitudini degli occupanti), sia dalle caratteristiche di ricambio d'aria nell'ambiente.

Per quantificare i fenomeni di condensa superficiale, è necessario quindi analizzare il legame tra l'insorgere della condensa, le caratteristiche costruttive del serramento, e le condizioni ambientali interne ed esterne. Nel seguito si farà riferimento soprattutto ad edifici a destinazione residenziale in condizioni invernali (riscaldamento), dotati di sistemi di ventilazione (naturale o meccanica) con semplice estrazione dell'aria, escludendo quindi la presenza di un vero e proprio impianto di condizionamento capace di controllare rigorosamente l'umidità in ambiente.

3. Variabilità delle condizioni ambientali interne

Le condizioni ambientali interne in un edificio riscaldato possono variare considerevolmente in funzione del cli-

ma esterno, del tipo di occupazione e delle modalità di ventilazione. Possiamo tuttavia individuare un campo di variazione realistico per tali condizioni, delimitato per quanto riguarda la temperatura dell'aria dai valori 17 °C (minima) e 22 °C (massima) e, per quanto riguarda l'umidità relativa, dai valori di 40% e 60%; conseguentemente, il titolo dell'aria interna (X_i) potrà variare tra un minimo di 5 e un massimo di 10 g di vapore / kg di aria secca; il corrispondente campo di variazione della temperatura di rugiada risulta 4-14 °C (fig. 1).

Per determinare a calcolo l'umidità dell'aria interna si applica al sistema termodinamico «ambiente interno» l'equazione di conservazione della massa di vapore d'acqua:

$$M_v + \rho V_e (X_e - X_i) = 0 \quad (1)$$

da cui

$$X_i = X_e + (M_v / \rho V_e) \quad (2)$$

dove

M_v = tasso di produzione di vapore nell'ambiente (g/h)

V_e = portata volumetrica di ricambio (m^3/h)

X_e = titolo dell'aria esterna (g/kg)

X_i = titolo dell'aria interna (g/kg)

ρ = densità dell'aria (= 1.2 kg/ m^3).

Esprimendo la portata di ricambio come prodotto del numero di ricambi orari N e del volume dell'ambiente V ($V_e = NV$), otteniamo infine:

$$X_i = X_e + (M_v / \rho NV) \quad (3)$$

In inverno, il contenuto di vapore d'acqua dell'aria esterna presenta variazioni modeste: per temperature inferiori ai 5 °C, infatti, il titolo (X_e) varia fra 3 e 5 g/kg circa, per valori di umidità relativa (UR_e) compresi tra 50% e 100%. Diverso è ovviamente il discorso nelle stagioni intermedie, quando per valori di temperatura attorno ai 10-15 °C con umidità relativa elevata (60-80%), corrisponde un titolo dell'ordine di 10 g/kg.

Il tasso di produzione di vapore dipende dal numero di persone e dalle attività svolte nell'ambiente e presenta quindi, nell'arco della giornata, varia-

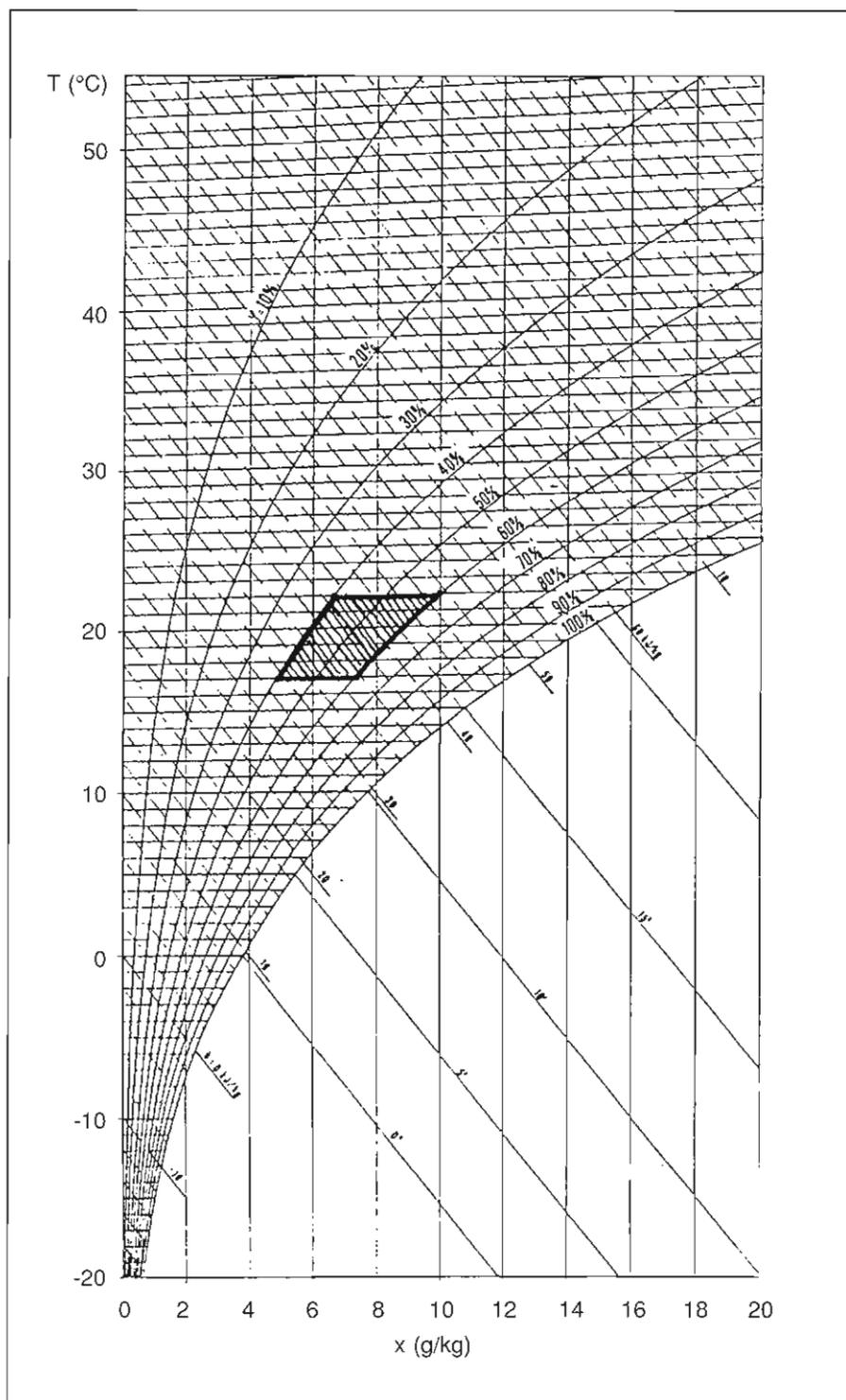


Fig. 1 - Campo di variazione delle condizioni termoigrometriche interne medie.

zioni legate al comportamento degli abitanti, con valori più elevati solitamente nelle ore dei pasti (massima presenza di persone, emissione di vapore nella preparazione dei pasti, ecc).

La portata di ricambio d'aria dipende dal tipo di ventilazione adottata

(naturale o meccanica), dalla permeabilità all'aria dell'involucro edilizio, dalle condizioni climatiche (velocità del vento, differenza di temperatura tra interno ed esterno) e, ancora, dal comportamento degli occupanti (apertura volontaria delle finestre): media-

mente i ricambi d'aria sono dell'ordine di 0.2-0.6 volumi/ora.

A titolo di esempio possiamo determinare le condizioni igrometriche interne in un appartamento di volume 300 m^3 , occupato da 4 persone (produzione di vapore 400 g/h), con un tasso di ricambio d'aria pari a 0.4 vol/h , nell'ipotesi che il titolo dell'aria esterna sia 4 g/kg . Dall'equazione 3 risulta:

$$X_i = 4 + (400 / 1.2 \cdot 0.4 \cdot 300) = 6.8 \text{ g/kg}$$

La corrispondente temperatura di rugiada risulta, dal diagramma di Mollier di figura 1, circa uguale a 8°C . Nel caso in esame, si verificherà condensa superficiale su tutte le superfici a temperatura minore o uguale a 8°C .

4. Caratteristiche dei serramenti e fenomeni di condensa

In un serramento esterno, la condensa superficiale può verificarsi sulla superficie vetrata, sul telaio, oppure in corrispondenza dell'accoppiamento tra telaio fisso e struttura muraria.

Il calcolo della temperatura superficiale interna non presenta difficoltà quando il flusso di calore è unidimensionale, ovvero quando l'elemento edilizio è assimilabile ad una parete piana: tali condizioni si verificano, ad esempio, nella parte centrale della superficie vetrata, dove non si risente l'effetto di disturbo del telaio. In corrispondenza del telaio e del collegamento telaio-parete, la complessa geometria del sistema fa sì che il campo di temperatura sia bi- o tridimensionale, per cui le classiche equazioni della trasmissione del calore in campo unidimensionale non sono, a rigore, applicabili: in questo caso, un calcolo rigoroso della temperatura superficiale richiede l'applicazione di sofisticate tecniche numeriche, ad esempio il metodo degli Elementi Finiti (Calì et al., 1978)*.

Per un'analisi di prima approssimazione, si può tuttavia ritenere che la trasmissione del calore in un serramento sia data dalla somma di due contributi di flusso unidimensionale, uno relativo alla superficie vetrata e uno al telaio; si trascura in questo ap-

* La normativa francese Règles Th (CSTB, 1986) contiene un metodo di calcolo manuale che consente la determinazione della trasmittanza di telai complessi, fra cui i serramenti metallici con taglio termico.

proccio il contributo della giunzione telaio-parete, che dipende in ogni caso fortemente dalle caratteristiche costruttive della struttura muraria.

Ritenendo quindi valida l'ipotesi di unidimensionalità del flusso termico, risulta conveniente introdurre un parametro, detto «fattore di temperatura» (τ), che misura lo scostamento della temperatura superficiale dalla temperatura dell'aria; il fattore di temperatura è definito come:

$$\tau = (T_{si} - T_e) / (T_i - T_e) \quad (4)$$

dove

T_{si} = temperatura superficiale interna

T_i = temperatura dell'aria interna

T_e = temperatura dell'aria esterna

Applicando le note equazioni dello scambio termico in una parete piana, è possibile stimare il fattore di temperatura con l'espressione:

$$\tau = 1 - K/h_i \quad (5)$$

dove

K = trasmittanza termica della parete
 h_i = coefficiente di scambio termico liminare interno.

Valori caratteristici di trasmittanza di vetrate e telai di comune impiego sono riassunti in tab. 1 (CSTC, 1979). Si può notare che i valori di K variano da un minimo di 1.7-2 W/m² °C (telaio in legno, vetro camera basso-emissivo) a un massimo di 6.5-6.7 W/m² °C (telaio metallico senza taglio termico, vetro semplice); i corrispondenti valori di τ risultano, assumendo nell'equazione 5 per h_i il valore standard di 8 W/m² °C, variare tra 0.8 e 0.2 circa.

Ovviamente, il rischio di formazione di condensa superficiale aumenta al diminuire del fattore di temperatura: serramenti con vetro-camera e telaio isolante (legno, PVC, metallo con taglio termico) correttamente installati avranno valori di τ dell'ordine di 0.8, con rischi di condensa minimi; al contrario, in un serramento con telaio metallico privo di taglio termico, *anche se dotato di vetro-camera*, la condensa superficiale può facilmente verificarsi poiché il fattore di temperatura è notevolmente più basso.

5. Procedimento di verifica della condensa superficiale

In base a quanto esposto in precedenza, il procedimento di verifica del «rischio condensa superficiale» può essere così sintetizzato:

— definito il tipo di serramento, si cal-

Tab. 1 - Dati sperimentali sulla trasmittanza dei serramenti

Tipo di telaio	Tipo di vetro			
	Solo telaio	Vetro semplice	Vetro camera	Vetro b.e.
Solo vetro	—	6.7	3.2	2.0
Legno	1.7	5.4	2.8	2.0
Alluminio	6.5	7.1	4.8	3.6
PVC	2.0	4.9	2.8	1.9

(Fonte: CSTC, 1979)

Note:

— Telaio in alluminio senza taglio termico (per serramenti con taglio termico il K del telaio è praticamente coincidente con i valori di legno e PVC).

— Vetro semplice spessore 6 mm.

— Vetro camera spessore 4+12+4 mm.

— Vetro b.e.: rivestimento basso-emissivo e intercapedine con gas nobili.

— Tutti i valori di K sono misurati in laboratorio con velocità dell'aria esterna = 3.7 m/s; i K sono espressi in W/m² °C.

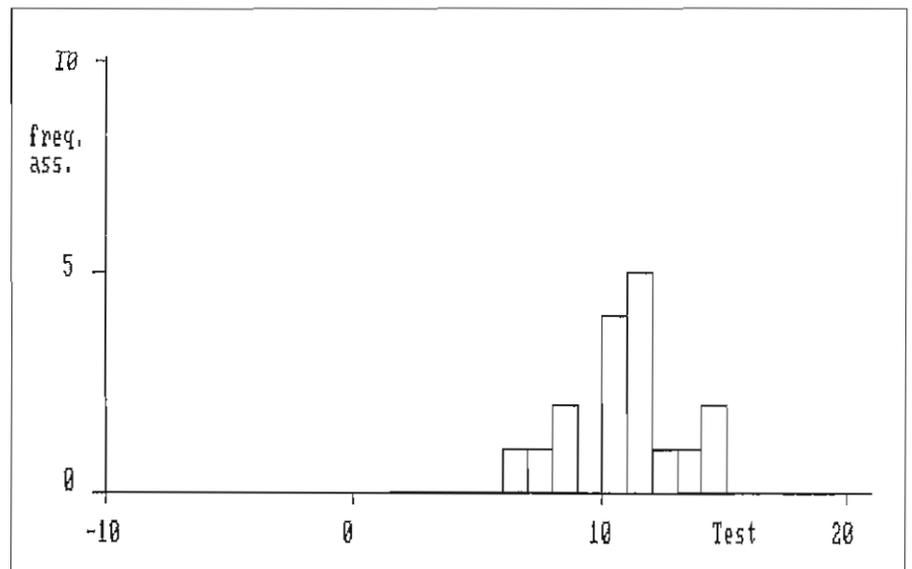


Fig. 2 - Frequenza assoluta degli eventi di condensa in relazione alla temperatura esterna.

cola in base ai valori di tab. 1 (o di un'analisi numerica dettagliata) il valore minimo del coefficiente di temperatura τ , che potrà riguardare, a seconda dei casi, il telaio o il vetro;

— in base al valore di τ e alle temperature interna ed esterna adottate nella verifica, si calcola dall'equazione 4 la temperatura superficiale interna T_{si} minima;

— si determina dal diagramma di Mollier il titolo dell'aria interna X_i corrispondente ad una temperatura di rugiada pari a T_{si} ; se il titolo in ambiente risulterà maggiore o uguale a tale valore si verificherà condensa sulla superficie esaminata;

— dall'equazione di bilancio di massa

3 si ricava la portata di ricambio minima per evitare la condensa, oppure se il ricambio è fissato si verifica se il titolo X_i risultante è tale da provocare condensa.

Il procedimento qui illustrato è stato applicato dall'analisi di una serie di dati sperimentali rilevati in un edificio residenziale dotato di ventilazione meccanica controllata (Fantozzi, 1990), in cui si sono verificati fenomeni di condensa superficiale sul telaio di alcuni serramenti.

L'analisi statistica dei risultati ha messo in risalto, fra l'altro, come il fenomeno si verifichi prevalentemente nelle ore dei pasti (fig. 2) e per valori di temperatura esterna non particolar-

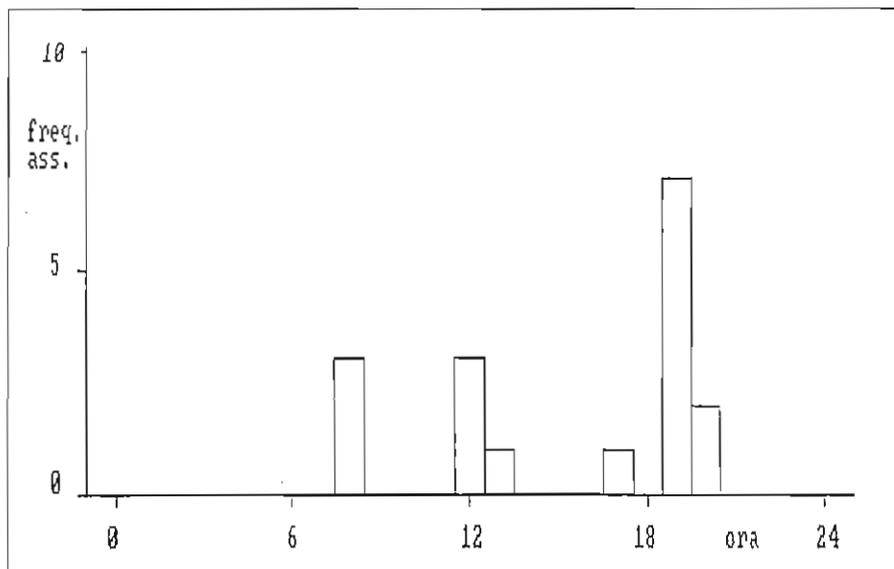


Fig. 3 - Frequenza assoluta degli eventi di condensa in relazione all'ora.

mente bassi (fig. 3): in questo caso l'evento di condensa è stato quindi determinato più dall'elevata umidità dell'aria esterna che dalla temperatura esterna ridotta. ■

Prof. Ing. Marco Masoero
(Politecnico di Torino)

BIBLIOGRAFIA

M. Cali, V. Ferro, M. Masoero: «Campi termici bidimensionali nelle strutture edilizie». Il condizionamento dell'aria, 1978.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB): «Règles Th-K 77». Cahier 2096, settembre 1986.

Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC): «U-Value of Windows». Report D 1979/0611/20, 1979.

C. Fantozzi: «Sistemi di ventilazione meccanica controllata per edifici residenziali». Tesi di laurea in Ingegneria Meccanica, Politecnico di Torino, marzo 1990.

Progettazione e messa in opera delle vetrate

di
Roberto Sampaolesi

Attraverso una vetrata con vetro singolo si perde fino al 30% dell'energia prodotta per il riscaldamento dell'ambiente: le aperture trasparenti risultano il punto più debole, per l'isolamento termico, di tutte le pareti, specialmente quando si adottano soluzioni avanzate di coibentazione per le pareti in muratura.

Isolamento termico

Rispetto della legge 373/76 e DM 30 del 30/7/86.

Risparmio per le spese di riscaldamento invernale e di condizionamento estivo.

Isolamento acustico

Riduzione della trasmissione del rumore esterno: es. traffico urbano.

Nuove disposizioni europee sui livelli accettabili di rumore negli ambienti.

Utilizzo di vetri speciali basso emissivi e riflettenti antisolari

Complessivo miglioramento del comfort abitativo

Elementi per la corretta messa in opera della vetrata isolante

Posizionamento e tassellatura

Funzione portante della vetrata e rigidità torsionale della finestra.

Verifica dei fermavetro

Carichi trasmessi dalle vetrate per azione del vento. Peso proprio.

Guarnizioni di tenuta

Infiltrazioni e ristagno di acqua.

Danneggiamento della vetrata isolante.

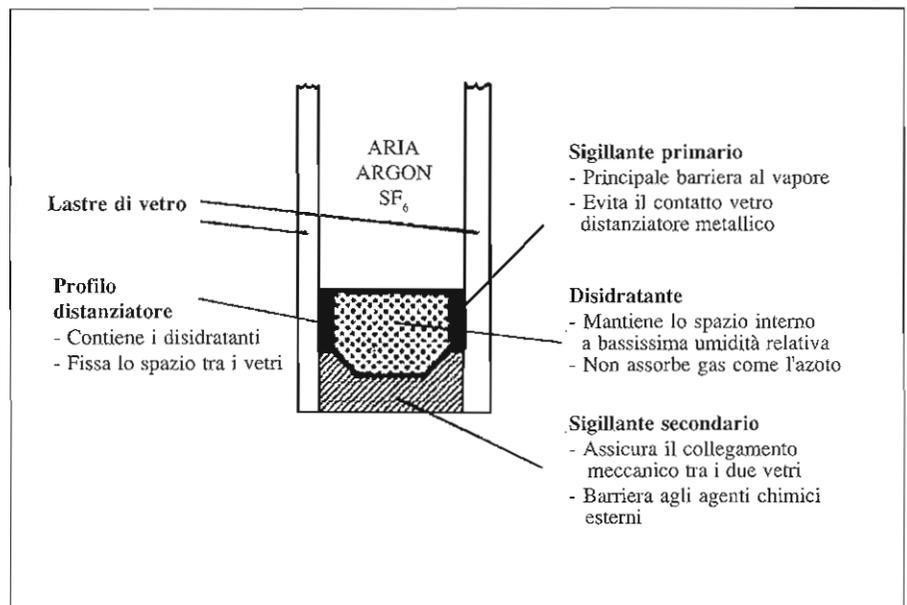
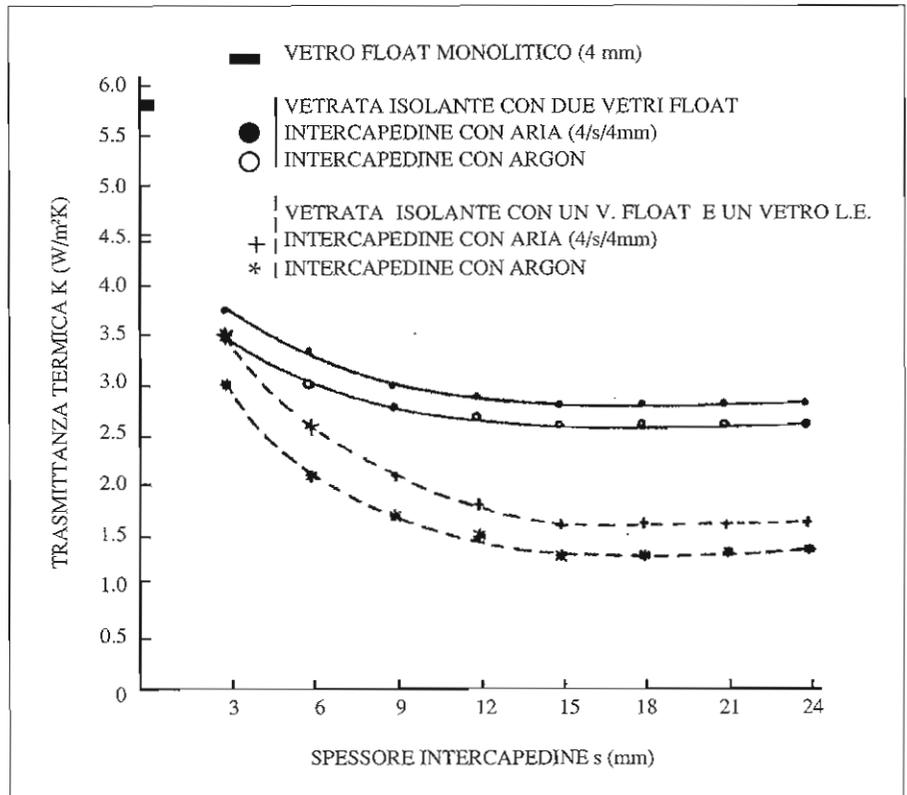


Fig. 1 - Schema di vetrata isolante: principali elementi.

Nell'edilizia moderna l'uso della vetrocamera come elemento di finestratura è sempre più considerato una «buona regola» di costruzione, al fine di contenere le perdite di calore e quindi limitare i costi energetici per il condizionamento degli ambienti.

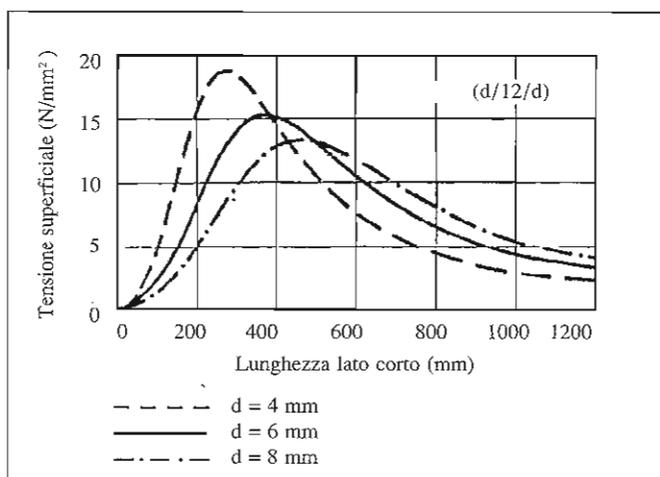
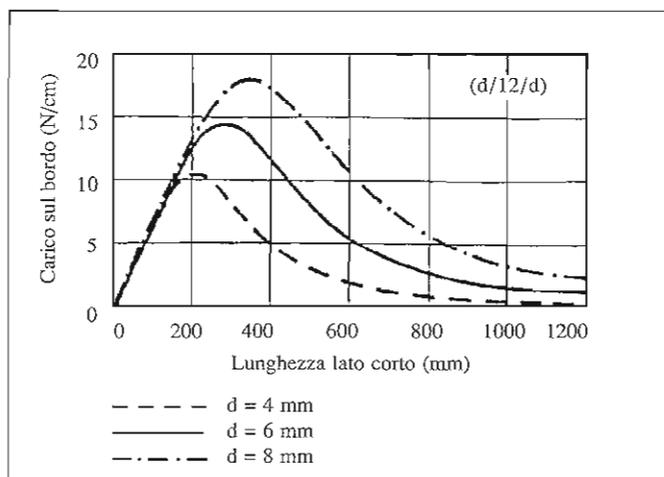
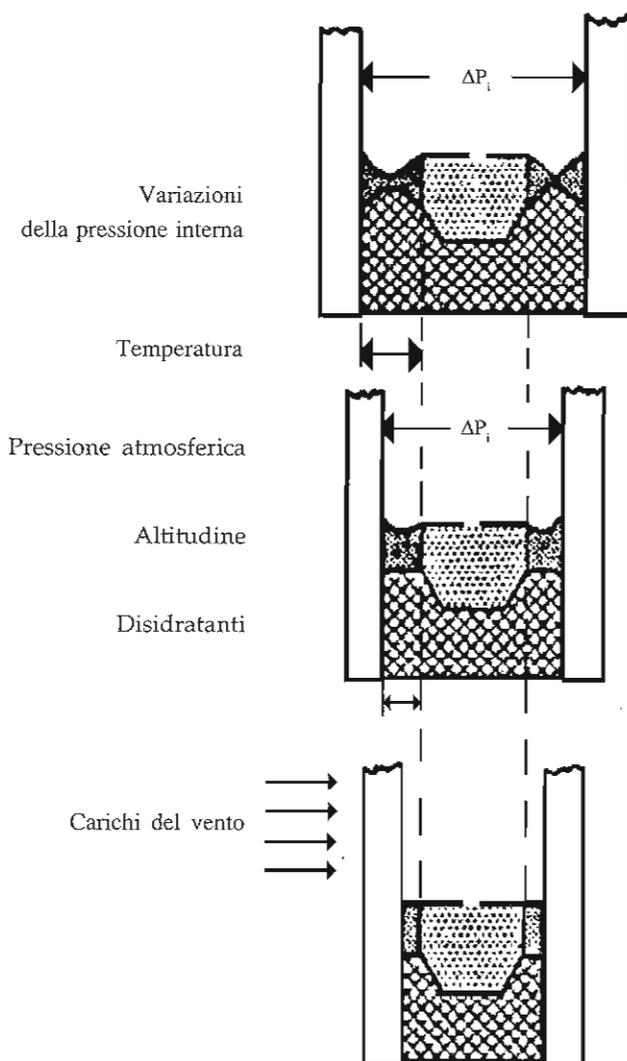
L'idea di realizzare una vetrata doppia ricorre già dalla metà degli anni '30, ma sino all'inizio degli anni '60 questa soluzione è stata adottata in quantità estremamente limitata utilizzando vari metodi di assemblaggio. Lo sviluppo dei materiali sigillanti e la messa a punto di vetri speciali a caratteristiche selettive hanno migliorato sostanzialmente le vetrate, sia nelle caratteristiche di isolamento termico che di durata nel tempo.

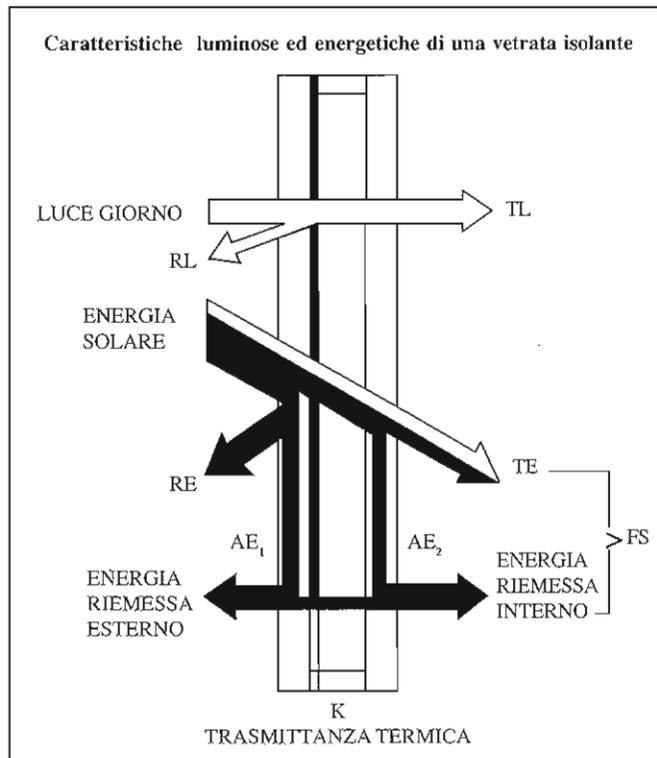
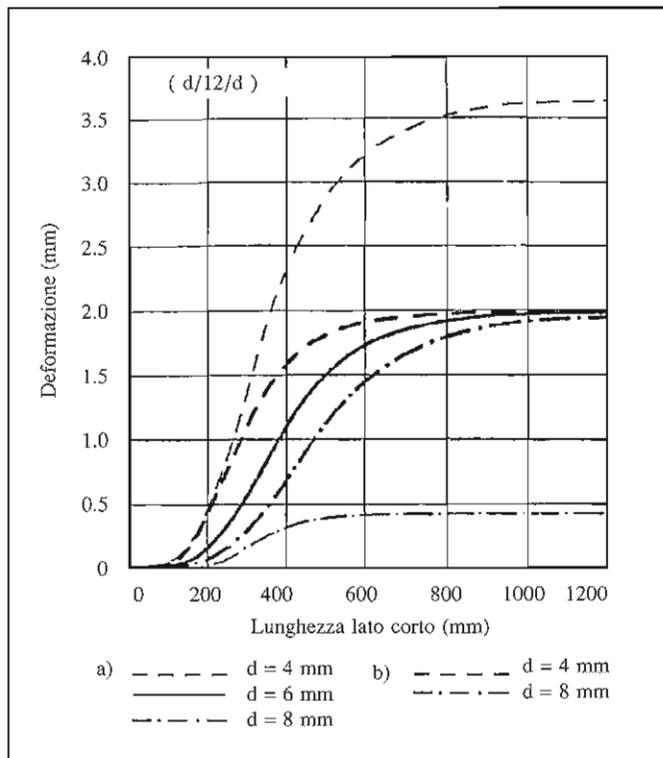
Il sistema di assemblaggio delle vetrocamere oggi più affidabile è quello della doppia sigillatura dei bordi delle lastre di vetro con materiali organici, con telaio metallico distanziatore interno. Il ciclo di assemblaggio di una vetrocamera è costituito da fasi relativamente semplici, ma è molto importante scegliere correttamente i materiali componenti, quali: sigillanti, disidratanti, vetri, dai quali dipenderanno le caratteristiche e la durata del manufatto.

Una vetrocamera è fisicamente schematizzabile come un sistema chiuso, cioè un contenitore di gas (aria, argon o miscela di gas) con pareti deformabili soggetto ad un movimento ciclico dovuto all'espansione ed alla compressione del gas che, in funzione delle variazioni di temperatura e pressione, modifica la propria densità e quindi il proprio volume specifico.

Nel sistema vetrocamera il sigillante risulta l'elemento più debole, sia per quello che riguarda le caratteristiche

Sollecitazioni meccaniche sui sigillanti perimetrali di una vetrata isolante





di deformabilità meccanica, sia per il possibile decadimento delle proprietà di tenuta a causa del deterioramento dovuto alle azioni meccaniche, termiche e fotochimiche (UV, agenti atmosferici, variazioni di temperatura, inquinamento). Il degrado del sigillante perimetrale potrà favorire l'infiltrazione di un'eccessiva quantità di vapore acqueo oppure l'emissione di solventi volatili che potrebbero causare l'appannamento interno dei vetri che, non essendo possibile rimuovere, determinerà la fine della vita della vetrocamera.

Un componente molto importante nella realizzazione di una vetrocamera è il materiale disidratante, che viene posto all'interno dei profili distanziatori e che ha la funzione di adsorbire il vapore acqueo e gli elementi volatili eventualmente rilasciati dai sigillanti, ma che dovrà limitare l'assorbimento dell'azoto contenuto nell'aria dell'intercapedine, così da non provocare un'eccessiva riduzione del volume del gas. La funzione del disidratante (gel di silice, setacci molecolari) è realmente fondamentale per la vita della ve-

trocamera, infatti è la sua azione di controllo dell'umidità contenuta nell'aria all'interno dell'intercapedine che ne determina la durata nel tempo.

Una vetrocamera, per effetto delle variazioni di temperatura durante il giorno e la notte e nelle differenti stagioni, varia la propria configurazione fisica, cioè le lastre si incurvano verso l'interno o verso l'esterno per compensare le variazioni di pressione del gas contenuto; per questo fenomeno di «respiro» della vetrocamera c'è un passaggio di vapore acqueo attraverso la barriera di sigillante perimetrale. Nel presente lavoro verrà analizzata l'importanza della scelta della doppia barriera di sigillante a permeabilità di vapore differenziata, rispetto alla monosigillatura, così come l'influenza della tipologia dei setacci molecolari e delle quantità richieste.

L'esigenza di progettare e produrre vetrocamere di qualità che si traducono in maggiore durata nel tempo, è cresciuta sempre più passando dalle applicazioni per finestre in abitazioni a quelle per facciate continue di edifici tutto vetro. In questo caso la vetroca-

mera è una scelta obbligata, in quanto la vetratura costituisce le pareti dell'intero edificio e deve quindi garantire un sufficiente isolamento termico verso l'esterno. Le vetrocamere installate in facciate continue e strutturali sopportano anche le sollecitazioni dinamiche che la struttura dell'edificio trasmette alle pareti esterne, quindi una corretta progettazione dei sistemi di ancoraggio è l'elemento fondamentale per garantire la stabilità nel tempo delle caratteristiche della vetratura.

In una facciata continua o strutturale la sostituzione di una vetrocamera difettosa si presenta come un'operazione complessa, si comprende quindi come le prove di certificazione della buona qualità delle vetrocamere devono essere spinte a livelli più alti con procedimenti e monitoraggi di laboratorio più severi.

Dall'analisi delle normative di prova che i vari stati europei ed extraeuropei hanno attualmente formulato, si rileva che in alcune Nazioni si è già ad un livello di assicurazione di qualità soddisfacente, che sarebbe auspicabile estendere all'intero mercato.

La verifica in opera delle prestazioni dei serramenti di PVC

di
Marco Piana

La messa in opera dei componenti edili si inserisce nella complessa problematica della gestione del cantiere.

Questo viene gestito in modo corretto da appalti per la fornitura dei materiali utilizzati, ma usualmente non viene normata in ugual modo la relativa messa in opera.

Questa mancanza è senza dubbio dovuta ad un vuoto della normativa nazionale ed internazionale.

Inoltre, non esistono regole ufficialmente riconosciute per la corretta posa in opera dei componenti, esistono solo procedure di pratica tradizionalmente adottate e variabili da regione a regione.

Come componente, il serramento richiederebbe codici di pratica installazione molto precisi e minuziosamente descritti, in quanto il componente in esame risulta essere un elemento complesso ed articolato.

Il serramento viene installato in un vano appositamente creato a questo scopo. I materiali costituenti tale vano sono usualmente laterizi, calcestruzzo e raramente materiali metallici.

Essendo il serramento di PVC realizzabile, e nella maggioranza dei casi realizzato, con gestione industriale della produzione, sarebbe auspicabile una simile procedura per l'esecuzione del suddetto vano, ma purtroppo questo viene inatteso nella maggior parte dei cantieri.

Come vedremo in seguito, la maggior precisione di realizzazione del vano di posa può portare ad un miglioramento delle caratteristiche generali delle prestazioni del serramento.

Un secondo aspetto migliorabile e con conseguenze importanti per la vita della finestra è rappresentato dalle modalità di stoccaggio degli stessi all'interno del cantiere, avendo cura di proteggere i profilati e di non sottoporli a sforzi prolungati non previsti.

La conseguenza peggiore è data dalla mancanza del rispetto delle aspettative prestazionali e delle carat-

teristiche fisico-tecniche anche se a monte si fossero applicati le migliori regole di progettazione meccanica.

La progettazione meccanica e termica dovrebbero essere seguite considerando l'effettiva esposizione, le reali condizioni di lavoro e le condizioni microclimatiche degli ambienti interni.

Il serramento viene progettato e realizzato per assolvere ad una precisa funzione: permettere l'ingresso della luce all'interno di locali di civile abitazione; non solo, però, deve areare, ventilare, schermare ecc.

Le caratteristiche prestazionali vengono verificate in laboratorio e sono in funzione di parametri climatici esterni quali ad esempio la forza del vento, la quantità di pioggia, gli sforzi meccanici presenti, la quantità di calore.

In realtà il serramento si troverà a lavorare in ambienti interni ed esterni sicuramente differenti da quelli ipotizzati in laboratorio e con caratteristiche di sollecitazioni non solo differenti ma dinamicamente variabili secondo leggi casuali.

È importantissimo realizzare una finestra che sia in grado di adattarsi a queste esigenze in maniera dinamica oppure presentare differenti prestazioni in funzione delle sollecitazioni a cui sarà posta.

I principali agenti esterni o interni possono essere così sintetizzati:

— *Esposizione.* Rappresenta un fattore di basilare importanza, ed è in grado di determinare non solo le caratteristiche iniziali del serramento ma quelle derivanti dall'utilizzo nel tempo.

L'esposizione, correlando la condizione di irraggiamento solare e la quantità di vento, influisce su tutto l'intero comportamento della finestra.

— *Zona climatica.* Le condizioni di lavoro variano in funzione dell'ubicazione dell'edificio: mare, monti, zone ventose, pianura ecc.

Questo parametro permette di iden-

tificare una forza del vento approssimativamente media e quindi permette di scegliere il serramento con caratteristiche necessarie.

— *Altezza dal suolo.* Influenza le caratteristiche del serramento mediante la presenza contemporanea di due parametri: vento e livello sonoro.

Il primo, facilmente intuibile, è direttamente proporzionale all'altezza, in quanto più l'edificio è alto più la forza del vento è incrementata.

Il livello sonoro invece riveste un importante aspetto molto attuale e di difficile trattazione in quanto funzione di molteplici aspetti principali e secondari.

Il serramento è sottoposto ad un livello sonoro, generalmente definito rumorosità, variabile in modo indiretto rispetto all'altezza dell'edificio ovvero la rumorosità del traffico, ad esempio, diminuisce la propria intensità in funzione della distanza dalla sorgente sonora.

Purtroppo non sempre viene attesa questa variazione di intensità in quanto gli edifici vengono realizzati con distanza troppo ravvicinata ed intercalati da vie di comunicazione a piani rialzati.

In alcune situazioni invece il fenomeno viene ad essere investito ad esempio dalla presenza di passaggi di aeroplani che disturbano in maggior misura i piani alti degli edifici posti nelle immediate vicinanze oppure dalla presenza di arterie di percorrenza ad alto flusso veicolare.

Per questa situazione negli ultimi anni si sono introdotte barriere antirumore che permettono di diminuire il livello sonoro ai piani bassi degli edifici prospicienti, mentre per i piani alti l'intervento sarebbe probabilmente troppo costoso ed anche di difficile realizzazione.

— *Materiali costituenti il serramento.* I materiali utilizzati per la realizzazione del serramento sono di basilare impor-

tanza per l'ottenimento di caratteristiche prestazionali ai limiti delle classi previste.

Qualità della molecola di PVC utilizzata per la conformazione dei profili, materiali dei rinforzi, tecniche di produzione e di assemblaggio, materiali e forme delle guarnizioni, qualità dei sistemi di chiusura sono tutti aspetti che concorrono ad una buona riuscita del serramento non solo in laboratorio ma soprattutto in opera.

La combinazione dei differenti materiali con i diversi comportamenti, quali ad esempio le deformazioni, la stabilità nel tempo, la rigidità del sistema, la rigidità degli ancoraggi creano una matrice di risultanze finali difficilmente prevedibili.

Viene quindi richiesta un'analisi a posteriori delle prestazioni del serramento stesso.

— *Giunto vano-serramento.* È senza dubbio la discontinuità più difficile a realizzarsi.

Nella generalità dei casi il giunto deve essere seguito tra due materiali differenti con caratteristiche comportamentali molto differenti, ad esempio vano murario e serramento di PVC.

Le deformazioni, i moduli di elasticità, la trasmissione termica e sonora imporrebbero singole risoluzioni molto complesse mentre in alternativa vengono attuati giunti tuttofare con caratteristiche differenziate a seconda del materiale utilizzato e della relativa posa in opera.

— *Ambiente di installazione.* È variabile da zona urbana, a zona rurale, ad industriale, con caratteristiche ambientali completamente variabili tra di loro.

I materiali utilizzati rispondono in modi differenti in funzione alle sollecitazioni esistenti.

Questi agiscono non solo su fattori estetici ma anche di durabilità e di caratteristiche comportamentali in generale.

Nelle tabelle 1, 2, 3 sono sintetizzati altrettanti aspetti delle caratteristiche prestazionali dei serramenti di PVC in funzione degli agenti esterni.

Le prestazioni rilevabili in opera, e quindi verificabili in cantiere mediante apparecchiature che verranno descritte in seguito, sono nella maggioranza simili a quelle realizzabili in laboratorio e ciò è sicuramente valido per ciò che riguarda i concetti basilari di verifica.

Tab. 1 - Condizioni climatiche e di esposizione

Tipo di esposizione		Campagna aperta					Campagna con rompivento, piccole città, periferie					Centro grandi città				
Zone climatiche		A,B	C,D,E	F	A,B,C,D,E,F		A,B	C,D,E	F	A,B,C,D,E,F		A,B	C,D,E	F	A,B,C,D,E,F	
Zona di vento	Altezza dell'edificio m	Classi di permeabilità all'aria			Classi di tenuta all'acqua e resistenza al vento		Classi di permeabilità all'aria			Classi di tenuta all'acqua e resistenza al vento		Classi di permeabilità all'aria			Classi di tenuta all'acqua e resistenza al vento	
1	10	A1	A1	A2	E1	V1	A1	A1	A2	E1	V1	A1	A1	A2	E1	V1
	20	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A1	A2	E1	V1
	40	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a
	60	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A2	E2	V1a
	80	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2
	100 e più	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a
2	10	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A1	A2	E1	V1	A1	A1	A2	E1	V1
	20	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a
	40	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2
	60	A2	A3	A3	E3	V2a	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2
	80	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a
	100 e più	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a
3	10	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a
	20	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A2	E2	V1a
	40	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a	A1	A2	A3	E2	V2
	60	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a
	80	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E3	V2a
	100 e più	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3
4	10	A1	A2	A3	E2	V2	A1	A2	A2	E2	V1a	A1	A2	A2	E2	V1a
	20	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a	A1	A2	A3	E2	V2
	40	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E3	V2a	A2	A3	A3	E3	V2a
	60	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A2	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E3	V2a
	80	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3
	100 e più	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3	A2	A3	A3	E4	V3

Tab. 2 - Livelli di rumorosità ambientali

Classi raccomandate per i serramenti in relazione al potere fonoisolante				
Tipo di locale	Zone di rumore			
	1	2	3	4
1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
2	R1	R1/E2	R2	R3
3	R1	R1	R1/R2	R2

tipo 1 - camere d'ospedale, teatri, sale conferenze, biblioteche, locali di abitazioni in zone rurali: 30 dB (A);

tipo 2 - locali di abitazioni in zone urbane: 35 dB (A);

tipo 3 - aule scolastiche: 45 dB (A).

zona 1 - livello sonoro equivalente compreso entro 65 dB (A);

zona 2 - livello sonoro equivalente compreso tra 65 e 70 dB (A);

zona 3 - livello sonoro equivalente compreso tra 70 e 75 dB (A);

zona 4 - livello sonoro equivalente oltre 75 dB (A).

zona 1 - fino a 200 autoveicoli/ora;

zona 2 - da 200 a 800 autoveicoli/ora;

zona 3 - da 800 a 3.000 autoveicoli/ora;

zona 4 - oltre 3.000 autoveicoli/ora.

Tab 3 - Agenti chimici aggressivi

COMMON CHEMICAL PRODUCTS		
Product	20 °C	60 °C
Alcohol (40% aqueous)	++	+
Antifreeze	++	++
Dish washing liquid	++	++
Detergent (diluted)	++	++
Furniture polishes	++	++
Gas oil	++	++
Lanolin	++	++
Linseed oil	++	++
Mineral oils	++	++
Moist acidic atmosphere	++	+
Moist alkali atmosphere	++	+
Motor oils	++	++
Petrol	++	++
Sea water	++	++
Vinegar	++	++
Vegetable oils	++	++

Key ++ Resistant + Practically Resistant

— *Permeabilità all'aria.* La prova è realizzabile con metodologia simile a quella eseguita in laboratorio secondo la normativa EN 42.

— *Tenuta all'acqua.* La prova è realizzabile con metodologia simile a quella eseguita in laboratorio secondo la normativa EN 86.

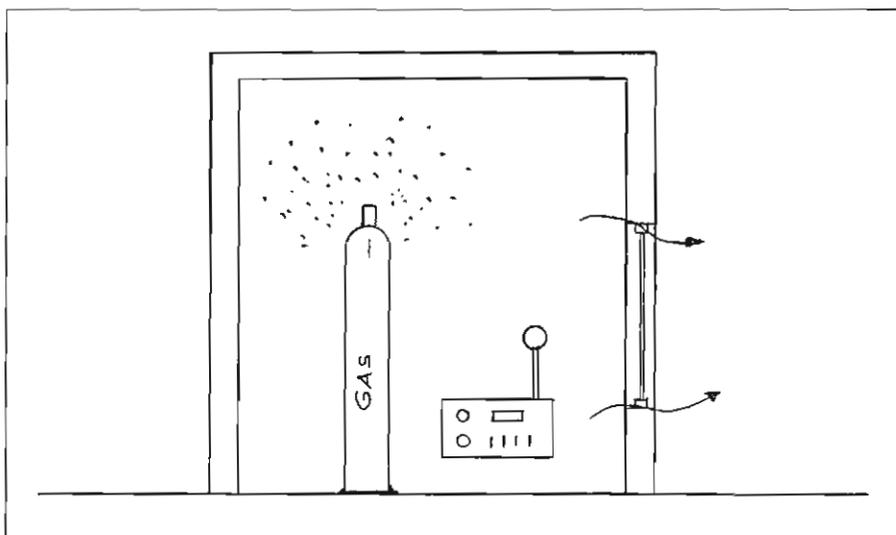
— *Resistenza al vento.* La prova è realizzabile con metodologia simile a quella eseguita in laboratorio secondo la normativa EN 77, con limitazioni dei carichi applicabili.

— *Isolamento acustico.* La prova è realizzabile con metodologia simile a quella eseguita in laboratorio secondo la normativa ISO 140.

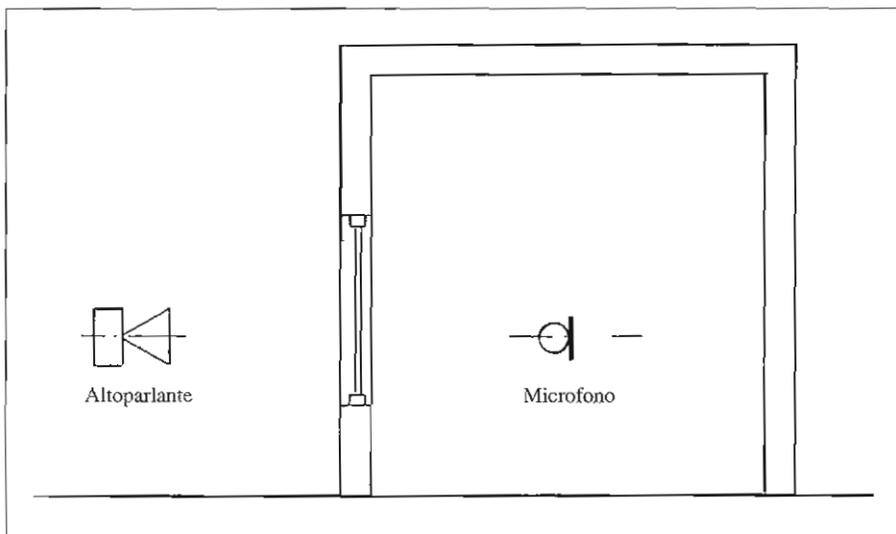
La prova di caratterizzazione acustica può essere condotta secondo la normativa esposta od anche con l'ausilio della rumorosità creata dal traffico per edifici posti in zona con tale presenza in modo costante.

— *Sollecitazioni meccaniche.* Prove di resistenza, di deformabilità, di resistenza delle saldature e delle cerniere possono essere eseguite con attrezzature portatili ed utile sarebbe la verifica dopo tempi di utilizzo variabili.

— *Isolamento termico.* La prova è realizzabile in cantiere secondo una metodologia basata sulla misurazione dei flussi termici presenti nel serramento



Metodologia di prova di permeabilità dell'aria dei serramenti col metodo dei gas trascinanti.



Metodologia di caratterizzazione acustica dei serramenti in opera.

con condizioni al contorno note. I dati ottenibili devono essere analizzati ed elaborati con estrema cura in quanto sono possibili interferenze di fenomeni non inerenti all'elemento sottoposto a verifica.

Le apparecchiature utilizzate per l'esecuzione delle prove esposte in precedenza si presentano come semplici per alcune e molto complesse per altre.

Possono essere suddivise in tre categorie in funzione delle apparecchiature utilizzate.

a) *Banco di prova portatile per la verifica di permeabilità all'aria, di tenuta all'acqua e di resistenza al vento.*

La figura 1 mostra una sezione ed una vista dell'apparecchiatura posizio-

nata durante l'esecuzione della prova.

È costituita da una parte che viene ancorata alla muratura adiacente il serramento col quale crea un'intercapedine in cui, tramite un generatore di pressione (variabile), viene esercitata la pressione desiderata.

Se nell'intercapedine venisse posta acqua in modo opportuno ne scaturirebbe la prova di tenuta all'acqua.

L'esecuzione della prova richiede notevole esperienza per la lettura dei risultati e per l'uso corretto dell'apparecchiatura nonché per la preparazione del campione da utilizzare.

b) *Gas traccianti*

Metodologia di prova assai complessa che richiede l'ausilio di appa-

recchiature costose e di notevole elaborazione.

I fondamenti, semplicissimi, si basano sull'immissione di gas contenuti normalmente nell'atmosfera in piccole quantità ed in quantità note nell'ambiente interno.

In questo, opportunamente sigillato, in tutte le possibili zone di infiltrazione dell'aria ad esclusione di quella sottoposta a sperimentazione, viene immesso gas definito tracciante in quanto da una concentrazione massima diminuisce gradatamente a causa dei ricambi d'aria e quindi è possibile risalire al valore di permeabilità all'aria del serramento in esame.

c) Isolamento acustico

La prova tradizionale è fornita dall'altoparlante (o rumorosità presente) posto nell'ambiente esterno e dirimetto al serramento. Con formule opportune e con i risultati derivanti dall'analisi del livello sonoro rilevato nell'ambiente interno si ricavano i valori di abbattimento della rumorosità esterna.

I risultati ottenuti sono riferiti all'apporto sia della parte trasparente che della parte opaca e quindi i rispettivi contributi dovranno essere separati per via analitica.

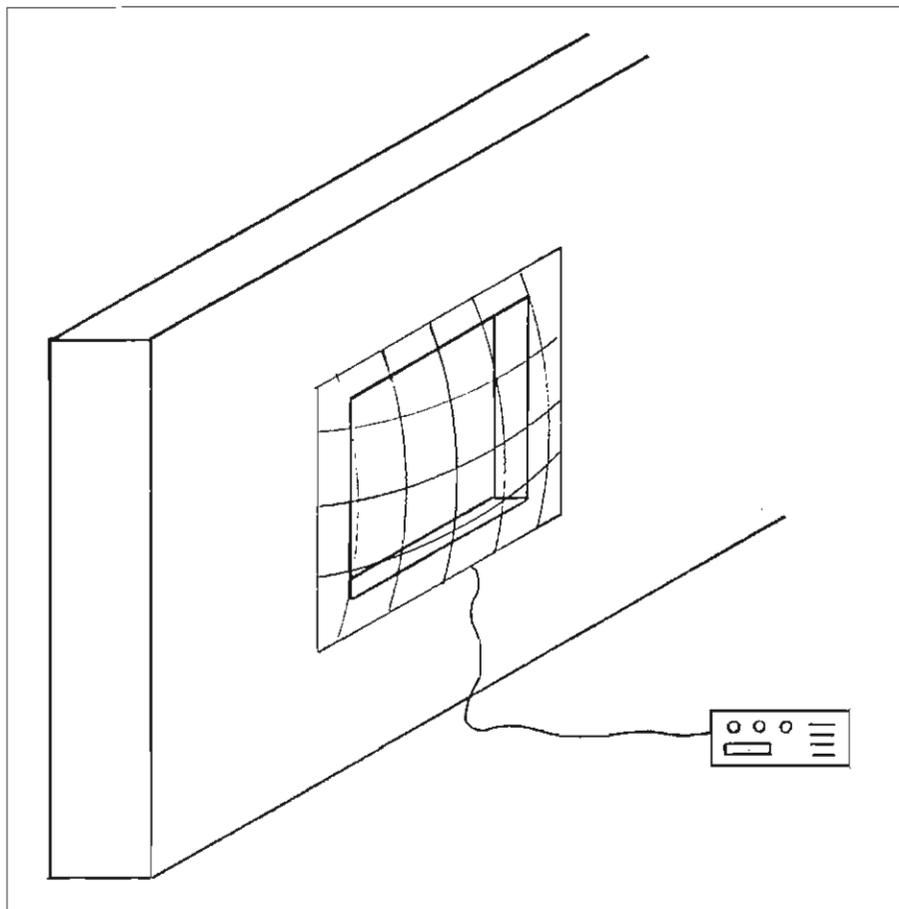
Un secondo sistema di indagine è rappresentato dall'utilizzo di ultrasuoni per identificare la presenza di fessure che possono lasciare transitare l'onda sonora proveniente dall'esterno.

Naturalmente questa verifica permette di correlare anche le possibili infiltrazioni d'aria o di acqua attraverso i giunti esaminati.

d) Prove meccaniche

Le prove di tipo meccanico vengono realizzate con semplici dispositivi di applicazione del carico e di dispositivi di lettura delle deformazioni.

e) Termoflussimetri, termografia e sonde per rilievo della temperatura e per



Metodologia di prova di permeabilità all'aria e di tenuta all'acqua dei serramenti esterni.

determinare la quantità di calore che transita attraverso il profilo del serramento.

Le conclusioni possono condurre a due aspetti salienti:

- le prove eseguite in cantiere non sempre concordano con quelle realizzate in laboratorio;
- l'edificio deve essere verificato o collaudato nel momento in cui tutti i singoli componenti sono stati installati e terminati nelle loro procedure di montaggio.

Questi semplici concetti permetto-

no di giungere ad un'interessante affermazione: l'edificio deve essere classificato in seguito alle caratteristiche valutate in opera.

La normativa quindi deve compiere un salto qualitativo importante, portando tutta l'esperienza attuale in un campo percorso ancora da poche nazioni che, in un prossimo futuro, ci auguriamo venga seguita da numerosi altri Paesi e dall'intera Comunità Europea. ■

Dott. Ing. Marco Piana
(SI-PVC)

Il capitolato d'appalto

di
Luigi Emanuelli

La descrizione dei lavori e il computo delle misure relative ad un'opera edile creano una serie di difficoltà tecniche e realizzative che sono causa di problemi nei rapporti fra committente progettista ed esecutore.

Le finalità che la documentazione di descrizione lavori e di computo delle misure si propone sono di tre tipi. Schematicamente:

— questa documentazione serve ad approfondire la conoscenza del progetto, quindi è parte integrante dello stesso. Si configura come una progettazione esecutiva fatta prima di iniziare la costruzione. La sua accuratezza è quindi fondamentale perché il processo di costruzione avanzi correttamente e senza intoppi;

— la direzione dei lavori utilizza questa documentazione in maniera intensiva dal progetto iniziale alla liquidazione finale dell'opera edile;

— il controllo delle quantità e dei prezzi, fondamentale dal punto di vista della preventivazione dei costi e per il controllo degli stessi, avviene in gran parte con l'utilizzo di questa documentazione.

Le principali difficoltà che si incontrano nel realizzare la documentazione di descrizione dell'opera possono essere così descritte:

— è assai facile commettere degli errori descrittivi, delle dimenticanze, delle omissioni che sono causa di lamenti commerciali, di incomprensioni, di confusione operativa;

— è un'operazione complessa che richiede un investimento notevole di tempo;

— è un'operazione complessa che richiede la consultazione di materiale informativo di vario genere:

- a) normativa tecnica;
- b) leggi per l'edilizia;
- c) informazione sui prodotti;
- d) prezzi per l'edilizia.

Tradizionalmente la descrizione dei lavori viene iniziata a progetto definito cercando di interpretare i disegni dei vari piani dell'edificio, le sezioni, i prospetti, le piante delle opere esterne ecc. La procedura che viene seguita consiste più o meno nelle seguenti fasi:

— si trascrivono su appositi moduli o su un blocco appunti le descrizioni delle opere da realizzare, man mano che le si identificano sui disegni;

— si provvede a fare il calcolo delle misure valutando le quantità dei lavori da fare.

Vediamo brevemente perché questa procedura non consente di produrre un documento con un alto grado di congruenza rispetto ai suoi scopi e quindi presenta delle difficoltà così gravi da ridurre le valenze tecniche specifiche di questo documento.

In molti casi la produzione di questa documentazione viene realizzata con finalità esclusivamente burocratiche.

Possiamo sintetizzare le difficoltà della metodologia tradizionale di compilazione del Capitolato come segue:

— dal momento che il progetto è stato già interamente definito si è persa l'opportunità di utilizzare la descrizione come ausilio alla progettazione;

— il controllo dei costi di costruzione e realizzazione parte in questo caso a progetto già quasi terminato, mentre potrebbe essere anticipato;

— il mondo tradizionale di procedere costringe il professionista incaricato di redigere la descrizione dei lavori ad uno sforzo molto difficoltoso di interpretazione dei disegni, ciò porta inevitabilmente ad errori ed a dimenticanze che a volte sono tali da compromettere interamente la credibilità della descrizione;

— non avendo nessun ausilio metodologico da seguire è necessario mantenere manualmente un ordine descrittivo, cosa che richiede uno sforzo notevole specialmente per opere di una certa complessità;

— ben difficilmente una descrizione potrà tradizionalmente essere portata a termine da più di una persona per motivi di comprensibilità dei documenti, si rinuncia a priori alla possibilità di apporti qualificati per la descrizione di lavori tecnologicamente specificati;

— nei casi in cui ci si trovi di fronte ad un progetto molto complesso non si dispone di una metodologia certa per poter dividere le varie componenti in elementi

più semplici e quindi più gestibili;

— paradossalmente per progetti di piccola entità, a carattere ripetitivo la complessità operativa necessaria a realizzare una descrizione aderente alla realtà convince ad utilizzare metodi di compilazione fondati su modulistica precompilata o su posizioni generalizzate che dovendo rappresentare dei casi generali ripetitivi finiscono per non avere alcuna utilità pratica essendo del tutto inutili alla gestione del progetto;

— gli errori ed omissioni dovuti alla metodologia tradizionale di compilazione del capitolato dipendono evidentemente anche dalla limitata quantità di tempo che può essere investita affinché questa operazione pur fondamentale nel processo di progettazione e realizzazione dell'opera edile rimanga un investimento economicamente riconosciuto.

Come si può procedere nella descrizione di un'opera edile superando le difficoltà descritte con l'utilizzo di un metodo consolidato?

Il Centro Edile ha messo a punto un metodo di lavoro innovativo che si configura come un accorpamento di una Banca Dati molto complessa e di procedure software che sono state integrate in un CD-ROM distribuito con il nome «Edilfile».

Edilfile è fondato su una metodologia descrittiva che è stata sviluppata in oltre 25 anni di progressivi miglioramenti con l'obiettivo di risolvere in maniera univoca i problemi relativi alla descrizione delle opere edili. Lo sviluppo originale del metodo si deve al CRB di Zurigo e attualmente questo metodo si è imposto come standard di descrizione edile nella Confederazione Elvetica.

Oltre alle difficoltà della metodologia tradizionale di descrizione descritte precedentemente vi sono altre considerazioni che hanno reso necessario lo sviluppo di un metodo, semplice ed efficace per la soluzione dei problemi connessi alla descrizione dei lavori edili.

In particolare:

— fra preventivo e consuntivo di un'opera edile le differenze sono spessissimo inaccettabili, questo anche perché molte opere necessarie non sono state

previste in termini di offerta e quindi si è ricorso per concludere i lavori ad ampliamenti del contratto o a lavori eseguiti in economia;

— la documentazione di descrizione, se non viene realizzata accuratamente, non risulta di nessuna utilità per ampliare la conoscenza del progetto da realizzare, non può essere utilizzata durante il processo di costruzione, non costituisce un ausilio dal punto di vista della liquidazione economica delle opere; in altre parole risulta essere un documento del tutto inutile;

— la descrizione è un documento tecnico che ha valenze anche economiche e di programmazione dei lavori, il professionista, l'impresa, lo studio che lo pubblica deve produrre un documento il più preciso e credibile possibile.

Il superamento delle difficoltà per l'ottenimento del miglior risultato possibile è basato sull'utilizzo dei due concetti sostenuti in Edilfile. Questi concetti sono semplicissimi ed efficienti, infatti si sono imposti completamente là dove sono stati introdotti.

Questi concetti sono:

- 1) il CCC cioè la classificazione dei costi della costruzione;
- 2) il CPN cioè un metodo completo ed innovativo di redigere le descrizioni di capitolato.

Analizziamoli brevemente.

Il CCC è un codice che consente la descrizione precisa di voci di costo.

Si configura in pratica come un piano contabile che consente una divisione dell'opera edile in parti più semplici e più gestibili; in particolare il piano di classificazione dei costi di costruzione ha scopi precisi:

- a) realizzare una divisione contabile

dell'opera da descrivere e valutare in maniera automatica;

b) sfruttando le capacità ordinarie del calcolatore ci consente di raggruppare le opere da realizzare in codici di costi che vengono ordinati in una sequenza logica automaticamente ed indipendentemente dalla nostra comodità;

c) rende possibile affrontare la descrizione dei lavori da qualunque parte vogliamo;

d) consente di riaggiornare le descrizioni normalizzate che semplificano il lavoro descrittivo conferendo ordine e precisione ai documenti da produrre;

e) rende possibile la descrizione virtuale delle opere da realizzare, cioè attraverso questo piano di classificazione possono essere creati tutti i capitoli descrittivi che faranno parte del capitolato finale, indipendentemente dal livello di sviluppo del progetto. Questi capitoli possono essere riempiti in ogni momento, riaggiornati periodicamente, modificati ecc.; l'ordine descrittivo viene comunque garantito dalla procedura in maniera automatizzata.

Il codice delle posizioni normalizzate costituisce un'innovazione rispetto alle tradizionali descrizioni dei lavori edili.

Infatti, tradizionalmente siamo abituati a vedere le descrizioni dei lavori come dei riassunti letterari e descrittivi dell'opera da realizzare. La loro bontà è influenzata in modo rilevante dalle capacità di colui che ha prodotto la descrizione. Inoltre le descrizioni tradizionali non sono strutturate in nessun modo. Ciò non consente un uso al di fuori della località e delle convenzioni attraverso le quali è stata prodotta. Inoltre non si riesce per lo più ad

identificare esattamente la qualità del lavoro da svolgere e nonostante la verbosità delle descrizioni, si assiste molto spesso ad interpretazioni diverse e disomogenee. Ciò è causa di problemi di comprensione e di rapporto fra gli interessati diretti ed indiretti della costruzione.

Il Codice delle Posizioni Normalizzate si propone come un linguaggio comune.

In effetti l'analisi della sua struttura richiederebbe una trattazione specifica; per brevità, conviene analizzare brevemente come è realizzata una posizione del CPN.

La posizione CPN riduce al minimo la parte testuale che si configura quindi più facile da leggere e da identificare; per fare questo sottrae alla parte testuale tutte le indicazioni tecniche e tecnologiche che concorrono a definire la qualità e quindi il prezzo.

Queste indicazioni sono aggiunte successivamente come varianti associate. Possono essere compilate e completate attraverso le specificazioni tecniche necessarie. In tal modo ogni singola descrizione risulta essere in realtà la generatrice di descrizioni più specifiche e più precise dal punto di vista tecnico mantenendo, tuttavia, un carattere di universalità e chiarezza.

Sarebbe impossibile specificare più diffusamente le molte altre caratteristiche informative contenute in Edilfile senza l'uso di molto tempo e di una dimostrazione pratica. Invito perciò coloro che siano interessati a maggiori specificazioni tecniche a contattarmi, sarà mia premura inviare a tutti la documentazione tecnica relativa al prodotto. ■

Arch. Luigi Emanuelli
(Centro Edile)