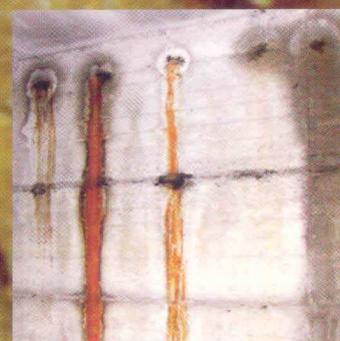


imparare dagli errori



Regione
Lombardia



imparare dagli errori

un archivio aperto di casi di guasto a supporto
di progetto e gestione di sistemi tecnologici edilizi



Regione Lombardia Opere Pubbliche

Direzione Generale: dott. Ettore Bonalberti

Dirigente Unità Organizzativa OO.PP.: arch. Paolo Morazzoni

Dirigente Struttura di Coordinamento Opere ed Osservatorio Lavori Pubblici: ing. Anna Cozzi

Questo documento rappresenta il prodotto realizzato dal *BEGroup – Building Envelope Group*, Unità di Ricerca del *Dipartimento di Scienza e Tecnologie delle Costruzioni – BEST (Building and Environment Science and Technology)* del Politecnico di Milano, nel contesto di una convenzione colla *Direzione Generale Opere Pubbliche, Politiche per la casa e Protezione Civile* della Regione Lombardia, parte di una più ampia ricerca nel campo della gestione e della valutazione della qualità del progetto, avente come obiettivo la “Realizzazione di un archivio aperto di casi di guasto come strumento a supporto del progetto tecnologico e della e programmazione della manutenzione”.

Il lavoro è stato progettato e coordinato da **Enrico De Angelis** ed **Antonio Ferro** (Regione Lombardia).

I docenti e ricercatori del BEST che hanno contribuito alla sua realizzazione sono: **Sergio Croce**, esperto di patologia edilizia, coordinatore del gruppo di lavoro internazionale W086 *Building Pathology* del CIB; **Giacomo Cusmano**, libero professionista, esperto di tecnologie e sistemi di impermeabilizzazione sottoquota; **Simona D’Ascola**, esperta di conservazione; **Enrico De Angelis**, esperto di progettazione, patologie dell’involucro edilizio e validazione del progetto di costruzioni; **Mario Dejacco**, esperto di pianificazione e gestione delle attività di manutenzione; **Matteo Fiori**, progettista e consulente esperto nel settore della realizzazione e del recupero delle coperture; **Tiziana Poli**, esperta delle problematiche di progettazione e realizzazione di sistemi di involucro “evoluto”.

A questi si è aggiunto **Matteo Gastaldi**, ricercatore del Dipartimento di Chimica dello stesso Politecnico di Milano, esperto di ingegneria dei materiali e loro caratterizzazione;

Il progetto grafico del testo che segue è di **Sara Manazza**, quello dei documenti del CD allegato e la relativa impaginazione è di **Carolina Rapetti**. La pagina iniziale di accesso ai documenti contenuti nel CD è di **Alberto Rebori**.

© Regione Lombardia, dicembre 2004

I diritti di riproduzione, memorizzazione elettronica e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati.

ISBN 88-901680-0-5

Copertina di Carolina Rapetti – fotografie di Enrico De Angelis

Presentazione

L'assessorato alle *Opere Pubbliche, Politiche per la Casa ed Edilizia Residenziale Pubblica* è impegnato, nel proprio ambito di competenza, su diversi fronti, per il raggiungimento dell'obiettivo strategico della "qualificazione urbana", garantendo una concreta presenza a fianco degli enti pubblici territoriali ed assicurando agli stessi un riferimento orientativo costante.

Pensando ad un obiettivo così importante, è intuitivo il profilarsi di uno scenario complesso e multidisciplinare che interessa l'intero tessuto socio-economico ed ambientale su tutto il territorio lombardo. Dopo aver pubblicato l'esito della prima parte di questo complesso percorso di ricerca, riferito alla qualificazione del procedimento nei lavori pubblici e destinato a chi dall'interno della pubblica amministrazione governa il complesso processo di pianificazione, progettazione, realizzazione e controllo di un'opera pubblica (reperibile sul sito internet www.oopp.regione.lombardia.it), con la presente pubblicazione si conclude un ulteriore percorso riferito alle problematiche della progettazione e della manutenzione degli edifici.

Un **archivio dei casi di guasto in edilizia**, questo il tema della ricerca sviluppata in collaborazione con il Dipartimento BEST del Politecnico di Milano, a cui va il nostro ringraziamento.

Come dire, **gli edifici ci parlano**. Attraverso il manifestarsi delle patologie che nel corso dell'uso che degli stessi si fa, essi ci rivelano sia l'eventuale necessità, a futura memoria, di **rivedere** le stesse **scelte progettuali** operate, anche in relazione ai contesti ambientali e climatici, sia l'altrettanto importante necessità di **assicurare una cura manutentiva** che è fatta di scadenze diverse in ragione delle diverse prestazioni delle componenti edilizie.

È intuitivo il fatto che non esistono materiali e modalità di posa in opera perfetti in assoluto ed è interessante osservare come, ad esempio, nei diversi caratteri climatici che interessano il territorio nazionale assumono particolare rilievo altrettanto diversi agenti esterni, che concorrono a specializzare la stessa morfologia edilizia. Attraverso l'osservazione dei fenomeni di degrado dei manufatti da cui trarre spunto per le diverse possibili scelte preventive di progetto e successive di carattere manutentivo, si è cercato di stimolare l'attenzione del progettista verso una scelta più mirata dei materiali e una efficace posa in opera degli stessi.

Per rendere più agevole la consultazione dell'opera ci si è limitati ad una prima parte cartacea di inquadramento generale non troppo voluminosa e ad una parte, riferita a temi specifici, su materiali e modi di guasto, consultabili sull'allegato CD ROM.

Certi della grande responsabilità che compete ai progettisti per il determinante ruolo svolto con la loro professione sul tema della "qualità urbana", con la presente pubblicazione, abbiamo voluto fornire un contributo costruttivo su temi che rimarranno sempre aperti in relazione all'evoluzione della conoscenza e per i quali la **Regione Lombardia** ha esercitato e continuerà ad esercitare un ruolo traente.

L'assessore GIANPIETRO BORGHINI e il Direttore Generale ETTORE BONALBERTI

Prefazione

Il testo *imparare dagli errori*, a cura di Enrico De Angelis e Antonio Ferro, documenta un complesso lavoro, svolto dal **BEGroup** e si inquadra nell'attività di ricerca scientifica del Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'ambiente costruito – BEST del Politecnico di Milano, cui l'unità di ricerca appartiene.

Tale attività riguarda la **progettazione dei sistemi edilizi e territoriali**, con le connesse tematiche economiche ed organizzative del settore costruzioni, e si articola in diversi ambiti disciplinari: progettazione esecutiva dell'architettura, problematiche gestionali e di controllo della qualità di processi e prodotti, tecnologie costruttive e dei materiali, manutenzione edilizia, sistemi energetici per l'ambiente costruito e tecnologie impiantistiche e fisico-tecniche per le costruzioni e il territorio, innovazione tecnologica e cultura del progetto, progettazione ambientale, teorie e tecniche di rappresentazione dell'architettura e del paesaggio. Le unità di ricerca che fanno capo agli ambiti disciplinari del Dipartimento operano per conto di istituzioni ed enti pubblici e privati offrendo servizi di varia natura quali studi di fattibilità, supporti alla progettazione, studi teorici, consulenze nonché attività di gestione della produzione nei diversi aspetti, economici, finanziari, operativi e gestionali.

Questo studio rappresenta un esempio tangibile del potenziale **contributo dell'università** al mondo della produzione, per il miglioramento delle conoscenze e la predisposizione di strumenti operativi.

Esso sintetizza i risultati di una più ampia ricerca che ha interessato il campo della gestione e della valutazione della qualità del progetto tecnologico, tema che riguarda non solo i materiali ed i processi produttivi ma anche il progetto inteso come esito di un'attività complessa svolta da professionisti qualificati con il contributo di diversi specialisti. Parlare di **qualità del progetto** significa, quindi, alludere alla qualificazione dei progettisti, alla completezza degli elaborati grafici e dei testi che rappresentano l'idea progettuale e la rendono realizzabile in cantiere, nonché alla coerenza dell'idea di progetto rispetto alle attese della committenza. Una valenza particolare è rappresentata dalla necessità di progettare e realizzare l'opera in modo da rendere sostenibili, per la specifica committenza, i **costi di gestione**; l'obiettivo è raggiungibile con un'attenta definizione delle finalità dell'opera, delle sue esigenze di manutenibilità e delle istanze del cantiere di costruzione, in sede di **programmazione**, e con una **progettazione coerente** con tali premesse. Molti studi condotti in ambito internazionale hanno dimostrato che gran parte delle patologie edilizie sono direttamente imputabili a carenze (errori, omissioni) progettuali, oltre che alle caratteristiche dei materiali impiegati.

In relazione a quest'ultima considerazione, lo studio fornisce validi riferimenti di natura metodologica e operativa. Realizzando una **banca dati informativa** di notevole interesse e di facile consultazione, sulle possibili cause di guasto, offre a progettisti, committenze ed operatori del cantiere la possibilità di conoscere anzitempo le risposte che certe soluzioni costruttive potranno avere in relazione a specifiche condizioni del contesto. Inoltre, gli esempi analizzati forniscono interessanti indicazioni per prevenire, attraverso adeguate soluzioni tecniche, alcune patologie di frequente diffusione. Il lavoro rappresenta, quindi, una valida base conoscitiva per affrontare, con cognizione di causa, il tema della programmazione della manutenzione. La possibilità di implementare ulteriormente l'insieme strutturato dei dati raccolti consente di capitalizzare quel patrimonio di esperienze legate alla pratica del cantiere che altrimenti andrebbero perdute.

Il lavoro costituisce un importante contributo scientifico per il rinnovamento degli studi in Architettura ed in Ingegneria, anche nella prospettiva dell'attivazione di nuove lauree specialistiche, in particolare sulle problematiche sempre più attuali ed urgenti della gestione e della manutenzione del patrimonio edilizio, della conservazione e della valorizzazione dei beni architettonici ed ambientali, in risposta ad un'esigenza di professionalità di un settore in rapida trasformazione che assume la qualità del costruito quale fattore strategico del cambiamento.

Il direttore del Dipartimento BEST, del Politecnico di Milano, FABRIZIO SCHIAFFONATI

Prefazione

Il testo *imparare dagli errori*, a cura di Enrico De Angelis e Antonio Ferro, documenta un complesso lavoro, svolto dal **BEGroup** e si inquadra nell'attività di ricerca scientifica del Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'ambiente costruito – BEST del Politecnico di Milano, cui l'unità di ricerca appartiene.

Tale attività riguarda la **progettazione dei sistemi edilizi e territoriali**, con le connesse tematiche economiche ed organizzative del settore costruzioni, e si articola in diversi ambiti disciplinari: progettazione esecutiva dell'architettura, problematiche gestionali e di controllo della qualità di processi e prodotti, tecnologie costruttive e dei materiali, manutenzione edilizia, sistemi energetici per l'ambiente costruito e tecnologie impiantistiche e fisico-tecniche per le costruzioni e il territorio, innovazione tecnologica e cultura del progetto, progettazione ambientale, teorie e tecniche di rappresentazione dell'architettura e del paesaggio. Le unità di ricerca che fanno capo agli ambiti disciplinari del Dipartimento operano per conto di istituzioni ed enti pubblici e privati offrendo servizi di varia natura quali studi di fattibilità, supporti alla progettazione, studi teorici, consulenze nonché attività di gestione della produzione nei diversi aspetti, economici, finanziari, operativi e gestionali.

Questo studio rappresenta un esempio tangibile del potenziale **contributo dell'università** al mondo della produzione, per il miglioramento delle conoscenze e la predisposizione di strumenti operativi.

Esso sintetizza i risultati di una più ampia ricerca che ha interessato il campo della gestione e della valutazione della qualità del progetto tecnologico, tema che riguarda non solo i materiali ed i processi produttivi ma anche il progetto inteso come esito di un'attività complessa svolta da professionisti qualificati con il contributo di diversi specialisti. Parlare di **qualità del progetto** significa, quindi, alludere alla qualificazione dei progettisti, alla completezza degli elaborati grafici e dei testi che rappresentano l'idea progettuale e la rendono realizzabile in cantiere, nonché alla coerenza dell'idea di progetto rispetto alle attese della committenza. Una valenza particolare è rappresentata dalla necessità di progettare e realizzare l'opera in modo da rendere sostenibili, per la specifica committenza, i **costi di gestione**; l'obiettivo è raggiungibile con un'attenta definizione delle finalità dell'opera, delle sue esigenze di manutenibilità e delle istanze del cantiere di costruzione, in sede di **programmazione**, e con una **progettazione coerente** con tali premesse. Molti studi condotti in ambito internazionale hanno dimostrato che gran parte delle patologie edilizie sono direttamente imputabili a carenze (errori, omissioni) progettuali, oltre che alle caratteristiche dei materiali impiegati.

In relazione a quest'ultima considerazione, lo studio fornisce validi riferimenti di natura metodologica e operativa. Realizzando una **banca dati informativa** di notevole interesse e di facile consultazione, sulle possibili cause di guasto, offre a progettisti, committenze ed operatori del cantiere la possibilità di conoscere anzitempo le risposte che certe soluzioni costruttive potranno avere in relazione a specifiche condizioni del contesto. Inoltre, gli esempi analizzati forniscono interessanti indicazioni per prevenire, attraverso adeguate soluzioni tecniche, alcune patologie di frequente diffusione. Il lavoro rappresenta, quindi, una valida base conoscitiva per affrontare, con cognizione di causa, il tema della programmazione della manutenzione. La possibilità di implementare ulteriormente l'insieme strutturato dei dati raccolti consente di capitalizzare quel patrimonio di esperienze legate alla pratica del cantiere che altrimenti andrebbero perdute.

Il lavoro costituisce un importante contributo scientifico per il rinnovamento degli studi in Architettura ed in Ingegneria, anche nella prospettiva dell'attivazione di nuove lauree specialistiche, in particolare sulle problematiche sempre più attuali ed urgenti della gestione e della manutenzione del patrimonio edilizio, della conservazione e della valorizzazione dei beni architettonici ed ambientali, in risposta ad un'esigenza di professionalità di un settore in rapida trasformazione che assume la qualità del costruito quale fattore strategico del cambiamento.

Il direttore del Dipartimento BEST, del Politecnico di Milano, FABRIZIO SCHIAFFONATI

[introduzione]	
Della patologia edilizia e delle sue applicazioni.....	1
La patologia edilizia.....	1
La struttura del testo.....	1
Il CD allegato.....	3
Le appendici.....	4
[capitolo uno]	
Patologia e diagnostica edilizia.....	5
Premessa.....	5
Termini e concetti di base.....	6
Il processo diagnostico.....	11
Il rilievo preliminare.....	12
Regole per un processo diagnostico “di qualità”.....	15
Bibliografia.....	18
(<i>appendice 1</i>) <i>Terminologie relative alle anomalie</i>	21
[capitolo due]	
Gestione dei beni immobiliari e manutenzione.....	27
Introduzione.....	27
I documenti per la manutenzione secondo la legge quadro.....	28
Gestione e sicurezza dei lavoratori.....	29
Appalti di servizi e di lavori di manutenzione.....	30
Le leggi finanziarie.....	30
Le norme UNI.....	30
Considerazioni finali.....	33
Riferimenti normativi.....	34
(<i>appendice 2</i>) <i>Struttura e contenuti informativi del piano di manutenzione</i>	37
(<i>appendice 3</i>) <i>Struttura e contenuti informativi del fascicolo dell’opera</i>	43
[capitolo tre]	
Conservazione e manutenzione.....	47
Il contesto: <i>restauro</i> versus <i>conservazione</i>	47
Il concetto di manutenzione applicato al costruito.....	48
Il piano di “Conservazione” e i documenti nel caso dei beni culturali.....	50
Dal piano di manutenzione al piano di conservazione.....	51
(<i>appendice 4</i>) <i>Struttura e contenuti informativi del piano di conservazione</i>	55
(<i>appendice 5</i>) <i>Struttura e contenuti informativi del consuntivo scientifico</i>	63
[capitolo quattro]	
Patologia e rilievo.....	65
Introduzione.....	65
L’intervento del patologo nella gestione di un immobile.....	66
Il rilievo orientato al recupero.....	67
Ricognizione e rilevamento.....	68
[capitolo cinque]	
Il controllo del progetto.....	93
Premessa.....	93
(primo paragrafo) Le esperienze di “controllo del progetto”.....	97
(secondo paragrafo) Riferimenti normativi e terminologia.....	103
(terzo paragrafo) Come validare il progetto.....	109
(quarto paragrafo) Come organizzare e crescere nella validazione del progetto.....	123
(ultimo paragrafo) Bibliografia ragionata relativa alla validazione del progetto.....	131
(<i>appendice 6</i>) <i>Chi fa validazione e verifiche?</i>	135
(<i>appendice 7</i>) <i>Rischi e criticità nei procedimenti di LLPP</i>	141
(<i>appendice 8</i>) <i>Il design review nelle esperienze statunitensi</i>	147
(<i>appendice 9</i>) <i>Normativa di supporto al progetto di opere da costruzione</i>	151
[capitolo sei]	
Dai casi di guasto alle “lezioni imparate”.....	171
Dall’ <i>office automation</i> ai <i>knowledge management systems</i>	171
La “conoscenza analitica” e la “conoscenza empirica”.....	173
Archiviazione e gestione delle “lezioni imparate”.....	176
Archiviazione e gestione delle “lezioni imparate”.....	177
Un sistema gestione di lezioni imparate per il “settore costruzioni”.....	178
L’archiviazione dei casi di guasto a supporto del processo edilizio.....	183
La raccolta dei casi di guasto.....	186
Raccolte di casi di studio e di guasto.....	189
(<i>appendice 10</i>) <i>Progetti di sistemi lesson learned</i>	193
(<i>appendice 11</i>) <i>Portali italiani per il settore costruzioni</i>	195

I primi cinque affrontano tematiche diverse, riferibili a professionalità ed a categorie di servizi differenti, che possono essere considerate “indipendenti” l’una dall’altra. Nello specifico, essi trattano le problematiche:

- della diagnostica dei guasti degli edifici **[capitolo uno]**
- della pianificazione della manutenzione **[capitolo due]**
- del caso particolare della pianificazione degli interventi sul patrimonio storico-culturale **[capitolo tre]**
- dell’organizzazione delle attività di rilievo della consistenza di un patrimonio immobiliare **[capitolo quattro]**
- del controllo e della validazione del progetto di opere pubbliche **[capitolo cinque]**

Attraverso di essi si vuole fornire uno stato dell’arte per l’esecuzione della pianificazione degli interventi di manutenzione e di conservazione, pianificazione e ottimizzazione delle attività di rilievo e della revisione e validazione del progetto.

Il “filo rosso” che lega ciascuno di questi cinque capitoli “indipendenti”, è la *patologia edilizia*. Oltre a voler fare il punto della singola questione trattata, infatti, ciascun capitolo ha come obiettivo preparare il terreno per la dimostrazione di quanto la patologia edilizia e, in particolare, una raccolta di casi di guasto possa essere d’utilità per tale attività.

Di questo si parla nel **[capitolo sei]** che li segue, le cui conclusioni di seguito anticipiamo:

- La conoscenza – astratta e pratica – che la patologia edilizia mette a punto, mediando verso l’edilizia il *know-how* di altri settori scientifici e produttivi ma soprattutto sistematizzando i risultati dell’analisi, della diagnosi e degli interventi “terapeutici” che si operano su casi di guasto reali, non consiste unicamente in procedure e strumentazione diagnostiche. Questa disciplina può assumersi il ruolo di “distillatrice” di lezioni fondamentali e di conoscenza pratica, utile a tutte le fasi del processo edilizio ed alla progettazione in particolare.
- Dall’attività quotidiana del patologo³ si possono derivare con sistematicità “lezioni” fondamentali la cui efficace ed efficiente diffusione presso tutti gli operatori del settore avrebbe un effetto potenziale molto grande, in quanto la loro applicazione, nelle varie fasi del ciclo di vita di un’opera che sarebbero interessate, permetterebbe di ridurre la difettosità delle costruzioni, migliorarne l’affidabilità complessiva, ridurre il costo nel ciclo di vita e, cosa di sempre maggiore interesse, minimizzarne l’impatto ambientale complessivo.
- Il grado di efficacia con cui un tale archivio di “lezioni apprese” potrebbe influire sulla qualità del costruire è elevato, in quanto i precetti associati a casi di guasto

³ Non solo da costui, in realtà. La complessità organizzativa del processo edilizio e la complessa valenza – non solo prestazionale – di un’opera di architettura, fa sì che non vi siano solamente errori e difetti nella definizione delle soluzioni tecniche ma anche in tante altre scelte.

reali catturano facilmente l'attenzione sia dei più distratti sia di chi è disponibile solo per una fruizione informativa istantanea, aumentando fortemente le ricadute formative tra chi svolge dei compiti operativi, tipicamente poco disponibili ad intraprendere percorsi formativi a medio termine.

Quest'ultimo capitolo si chiede «come imparare dagli errori?» e «come la patologia edilizia può migliorare la qualità delle costruzioni?».

Il CD allegato

La risposta che esso fornisce a tale domanda, però, è parziale, dal momento che la soluzione (un sistema informativo che raccoglie casi di guasto e d'eccellenza e le lezioni – progettuali, costruttive, organizzative – che da tali casi si possono derivare) viene proposta in una versione sperimentale semplificata, allegata al testo su supporto informatico, all'interno del CD incollato alla terza di copertina.

Il CD raccoglie e mette a disposizione del lettore, una prima parziale raccolta delle informazioni desumibili dall'analisi di casi di guasto, ad esemplificare quello che dovrà essere il contenuto di tale sistema e a renderne in qualche maniera percepibile il sogno.

Nello specifico, in esso si trovano, in forma di schede in formato pdf, accessibili direttamente, cioè aprendo le cartelle che contiene, o con qualsiasi browser per internet, tramite alcune pagine html introduttive.

Le schede sono raccolte nelle seguenti cinque cartelle tematiche:

casi schede di rendicontazione sintetica di un caso diagnostico reale.

modi schede relative alle tipologie di eventi (sequenze complesse di eventi) che interessano una o più soluzioni costruttive dei principali elementi tecnici costituenti l'involucro edilizio:

- coperture a falda (COP_falda)
- coperture piane (COP_piane)
- pareti perimetrali (PPV)
- serramenti e vetrazioni (SERR)
- pareti controterra (PCT)

anomalie schede relative alle espressioni utilizzate per identificare le “anomalie” (vedi il seguente capitolo 1 e, in particolare le tabelle 2-8)

materiali schede relative alle caratteristiche ed alle problematiche fondamentali delle principali categorie merceologiche di prodotti da costruzione

meccanismi schede relative ai *meccanismi di alterazione* elementari che interessano i materiali da costruzione identificati sopra

Nelle schede dedicate ai “casi di guasto” ci siamo riferiti a casi reali complessi: l'edificio considerato o la sua parte sono, normalmente oggetto di più modi di guasto. Nelle schede dedicate ai “modi di guasto”, invece, abbiamo selezionato quelli

che, a nostro parere, sono i percorsi, le sequenze causali tipo che possono determinare condizioni di degrado inaccettabile in un subsistema tecnologico, in un elemento tecnico.

Il destinatario principale di questo archivio è il progettista. Tale espressione, tuttavia, è da intendersi riferita, in senso lato, a chiunque, all'interno del processo edilizio – e non solo in procedimenti di lavori pubblici – si assuma la responsabilità di operare scelte decisionali, soprattutto quelle “di tipo tecnologico” o “esecutivo” o “costruttivo” o “di dettaglio:

- il progettista “classico”
- il direttore dei lavori o il *project manager*
- il responsabile degli acquisti del *general contractor* (appaltatore)
- il fornitore di opere specialistiche (subappaltatore)
- lo stesso produttore di materiali che interviene suggerendo soluzioni e tipologie di prodotto da utilizzare.

Le appendici

I sei capitoli di cui sopra sono inframmezzati dalle seguenti appendici che li integrano apportando informazioni che abbiamo considerato utili ma non essenziali nell'economia di una prima lettura dei singoli capitoli. Sono numerate autonomamente ma la loro redazione è degli autori dei capitoli che le precedono (vedi indice):

(appendice 1) Terminologie relative alle anomalie

(appendice 2) Struttura e contenuti informativi del piano di manutenzione

(appendice 3) Struttura e contenuti informativi del fascicolo dell'opera

(appendice 4) Struttura e contenuti informativi del piano di conservazione

(appendice 5) Struttura e contenuti informativi del consuntivo scientifico

(appendice 6) Chi fa validazione e verifiche?

(appendice 7) Rischi e criticità nei procedimenti di LLPP

(appendice 8) Il design review nelle esperienze statunitensi

(appendice 9) Normativa di supporto al progetto di opere da costruzione

(appendice 10) Progetti di sistemi lesson learned

(appendice 11) Portali italiani per il settore costruzioni

3-001 appannamento e corrosione



APPANNAMENTO E CORROSIONE VETRAZIONE PER CONDENZA SUPERFICIALE [Modifica delle caratteristiche ottiche e chimiche della vetrazione per condensa della superficie a contatto con aria interna o esterna]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La condensazione superficiale, nel caso di una vetrazione, si può manifestare sia sulla superficie a diretto contatto con l'ambiente interno sia sulla superficie a contatto con l'ambiente esterno. La frequenza, la durata e l'intensità del fenomeno di appannamento [effetto della presenza di condensa], variano in relazione alla variabilità delle seguenti condizioni al contorno:

- temperatura operativa e umidità relativa caratterizzanti lo spazio confinato;
- modello di funzionamento dell'impianto di riscaldamento/raffrescamento [in regime non stazionario];
- caratteristiche termiche della superficie trasparente [trasmittanza];
- contesto climatico [Te e U.R.].



Il fenomeno della condensa superficiale. L'appannamento può essere causato da un'eccessiva concentrazione di vapore acqueo determinata da sovraffollamento [a sinistra]. Il controllo dell'incremento del vapore è demandato unicamente all'impianto di climatizzazione [errore di gestione]. [luogo: Shanghai Tower, Shanghai, China. Fonte: fotografia dell'autore]. La formazione di condensa, se prolungata nel tempo, può portare a fenomeni irreversibili di iridescenza [a destra - cfr. anomalie e caratteristiche di riconoscibilità]. Tali fenomeni sono presenti soprattutto nel caso di vetrazioni a specchiatura fissa [carenza di attività manutentive]. [Fonte: 2003, Lounghram P., Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture, Birkhauser, Basel, pp. 48].

Si ha condensazione superficiale quando:

- la temperatura superficiale della vetrazione è inferiore alla temperatura di saturazione della miscela di aria/vapore che la lambisce. L'effetto, visibile, è il deposito dell'umidità in eccesso sulla superficie della vetrazione che si affaccia sullo spazio confinato [appannamento interno];
- nella vetrata isolante si ha una elevata differenza tra la temperatura superficiale della lastra esterna [faccia 1] e la temperatura superficiale della lastra interna [faccia 4]. Nel caso in cui la temperatura superficiale della lastra esterna è inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria esterna e il contenuto di umidità è elevato, si ha il deposito dell'umidità in eccesso [appannamento esterno notturno invernale];
- in presenza di basse temperature esterne si aprono le finestre verso lo spazio confinato caratterizzato da un elevato contenuto di vapore acqueo. Il deposito di umidità si verifica sulla superficie esterna del vetrocamera, ovvero sulla superficie fredda [appannamento esterno];
- si è in presenza di una elevata concentrazione di vapore nello spazio confinato [alta umidità relativa e alta temperatura di saturazione] determinata da una elevata produzione di vapore e calore causata da un eccessivo affollamento o dallo svolgimento di particolari attività nell'ambiente di riferimento [a esempio bagni, cucine e piscine] [appannamento interno];
- il numero dei ricambi di aria sono bassi rispetto alle condizioni igrotermiche [appannamento interno].

La formazione di condensa sulle superfici trasparenti provoca la variazione delle caratteristiche ottiche di questo elemento tecnico [riduzione delle prestazioni ottico-luminose e termiche]. Quando la bagnatura della vetrazione è prolungata nel tempo il fenomeno di alterazione può diventare irreversibile [devettrificazione della superficie trasparente] [cfr. MdG 3-003].

Difetti e suggerimenti di prevenzione in fase di progetto

In questa fase è necessario controllare le seguenti prestazioni ambientali e tecnologiche e verificarne le relative specifiche:

- 1) Elevati valori di trasmittanza termica [U value]
Per garantire un'adeguata Temperatura superficiale della vetratura è necessario verificare i valori di progetto relativi alla trasmittanza termica [valore massimo ammissibile] in funzione delle temperature di progetto definite [temperatura esterna e interna] e dei valori di umidità relativa dell'ambiente.
- 2) Inadeguata scelta della tipologia di vetro
E' necessario verificare, in caso di adozione di coating basso-emissivi [vetro singolo e/o vetrocamera], il posizionamento del rivestimento. La scelta inadeguata o non controllata incide sulla variazione delle temperature delle lastre.
- 3) Inadeguata definizione dei parametri ambientali
E' necessario definire la quantità di vapore generata in funzione della destinazione e del modello d'uso dell'ambiente di riferimento;
- 4) Potenza dell'impianto di riscaldamento insufficiente
Per ridurre il rischio di condensazione superficiale [determinato dalla presenza di basse temperature interne] è necessario controllare la potenza dell'impianto di riscaldamento progettato rispetto alle prestazioni ambientali definite e alla variabilità delle condizioni esterne.

Difetti e prevenzione nelle fasi di lavorazione in officina e trasporto

E' necessario verificare, durante il montaggio della vetratura unita al perimetro, il posizionamento della lastra dotata di coating basso-emissivo.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

In casi rari è possibile che le caratteristiche termiche della vetratura non siano corrispondenti ai valori dichiarati.

Difetti e prevenzione in fase di gestione

- 1) Variazione eccessiva di temperatura dell'aria
E' necessario garantire una adeguata conduzione dell'impianto di riscaldamento [in regime non stazionario];
- 2) Basse temperature interne
E' necessario controllare il rendimento dell'impianto rispetto alla sua potenza [dato di progetto];
- 3) Produzione eccessiva di vapore
E' necessario garantire, in funzione del modello d'uso dell'ambiente [concentrazione volumetrica di vapore max 12g/m³], una adeguata ventilazione controllata [numero orario di ricambi di aria].
- 4) Mancata asciugatura della vetratura
E' necessario impedire la formazione di una pellicola di acqua mediante semplici operazioni di manutenzione ordinaria [asciugatura] o attraverso la definizione di adeguati ricambi d'aria.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità¹

- Appannamento temporaneo della superficie interna della vetratura; il fenomeno si manifesta inizialmente in corrispondenza dei bordi del telaio mobile, propagandosi successivamente su tutta la superficie vetrata.
- Appannamento temporaneo della superficie esterna della vetratura [1]; il fenomeno si manifesta inizialmente in corrispondenza del centro della vetratura, propagandosi successivamente fino ai bordi.
- Appannamento uniforme e irreversibile della vetratura [fenomeno di corrosione con formazione di macchie bianche o di film opalescente].
- Iridescentia [alterazione irreversibile del colore e delle caratteristiche ottiche della vetratura]. Il prolungamento dei fenomeni condensativi o la bagnatura della vetratura [pioggia] per periodi prolungati portano alla formazione di uno strato pellicolante oleoso e alla decolorazione concentrata della superficie [macchie cangianti].

Modi di guasto correlati

- MdG 3-003 – Corrosione vetratura
- MdG 3-016 – Sostituzione gas intercapedine vetratura

[1] La formazione di condensazione superficiale in questo caso non è un indicatore negativo ma, al contrario, suggerisce una scelta adeguata della vetratura in riferimento alle sue caratteristiche termiche [bassi U value]

3-002 condensa interna alla vetrazione



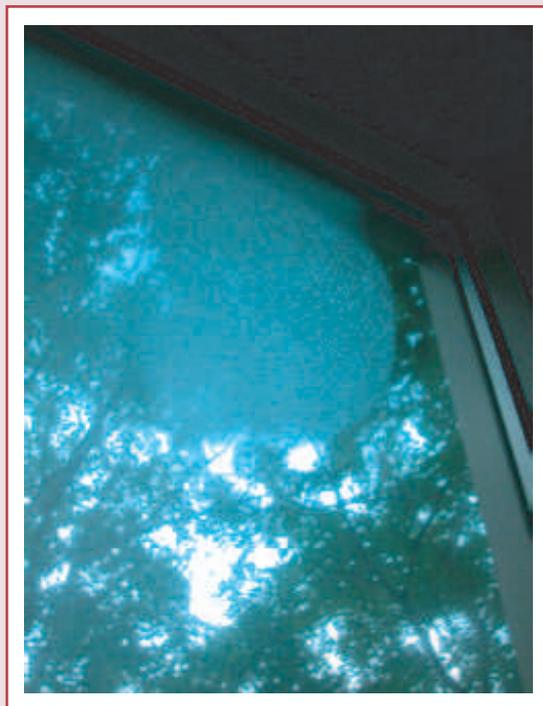
CONDENSA INTERNA VETRAZIONE PER DIFETTO SIGILLATURA [Modifica delle caratteristiche ottiche della vetrazione isolante per condensa del vapore acqueo presente in intercapedine per difetto di tenuta della sigillatura]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La condensa in intercapedine delle vetrate unite al perimetro avviene, in linea di principio, per difetto di tenuta della sigillatura primaria [cordolo di butile estruso a caldo e compresso] e per difetto di quella secondaria [sigillante costituito da polisolfuro, poliuretano o silicone]. L'alterazione di tenuta di questa doppia barriera attiva dei transfer di vapore che possono portare al fenomeno dell'appannamento interno all'intercapedine.

Nell'intercapedine, in corrispondenza del distanziatore, è collocato un disidratante [setaccio molecolare] che ha il compito di adsorbire selettivamente il contenuto di vapore acqueo presente nell'intercapedine al momento della sigillatura del vetrocamera e di eliminare la minima quantità di vapore acqueo che si può generare nel tempo.

La perdita di tenuta della doppia sigillatura determina uno scambio gassoso tra l'intercapedine stessa e l'aria esterna ovvero si assiste a una variazione della pressione di vapore in intercapedine. I sali costituenti il setaccio molecolare agiscono, mantenendo anidra l'aria nell'intercapedine, fino alla loro saturazione. Una volta saturati, ovvero reso inefficace il setaccio, la pressione di vapore dell'aria in intercapedine segue quella dell'ambiente con cui è a contatto.



Fenomeno della condensazione interna alla vetrazione isolata. [luogo: Hayatt Hotel, Charlotte, USA. Fonte: fotografia dell'autore].

La perdita di tenuta primaria, nel caso di mono e bi-sigillatura può essere determinata dal distacco del sigillante primario dal supporto. Tale distacco, determinato da eccessive sollecitazioni a trazione, può dipendere:

- dalla distorsione delle lastre causata dalla variazione della pressione atmosferica esterna rispetto alla pressione atmosferica in vetrocamera. La pressione atmosferica in intercapedine corrisponde alla pressione atmosferica durante le fasi di sigillatura del vetrocamera. Se la pressione esterna aumenta rispetto alla pressione in intercapedine le lastre vengono premute verso l'interno [effetto clessidra]. Se, al contrario, la pressione esterna diminuisce le lastre vengono premute verso l'esterno. Tali fenomeni vengono accentuati in caso di composizione asimmetrica del vetrocamera [lastre con diverso spessore];
- dalla distorsione delle lastre determinata da una variazione di pressione in intercapedine rispetto alla pressione atmosferica esterna causata da una scelta inadeguata del setaccio molecolare. Alcuni disidratanti possono provocare l'adsorbimento e il desorbimento dell'azoto generando la variazione della pressione interna del vetrocamera;
- dalla deformazione delle lastre determinata dall'incremento della temperatura superficiale del vetro [vetro ad elevato assorbimento energetico]. Una non adeguata esposizione [forte soleggiamento] incrementa il fenomeno;
- dall'impiego di sigillanti aventi una temperatura di esercizio non adeguata rispetto alle caratteristiche energetiche della vetrazione.

La perdita della tenuta secondaria [polisolfuro, poliuretano e silicone] si può manifestare quando il sigillante non è protetto dai raggi U.V. In questo caso si assiste a una perdita delle caratteristiche adesive e a un aumento della permeabilità al vapore.

La formazione di condensa sulle superfici in intercapedine provoca la variazione delle caratteristiche ottiche di questo elemento tecnico [riduzione delle prestazioni ottico-luminose e termiche].

Quando la presenza è prolungata nel tempo il fenomeno di alterazione può diventare di tipo chimico e irreversibile. In questo caso tra il vapore acqueo e la superficie trasparente, con la quale è a contatto diretto, si hanno dei fenomeni di scambio ionico, cioè alcuni ioni idrogeno entrano nel vetro da cui fuoriescono ioni sodio. Questo processo rende la soluzione acquosa basica e quindi si innesca il meccanismo di dissoluzione [corrosione] del vetro.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

Nella fase di selezione del prodotto è necessario controllare che le caratteristiche rispondano alle specifiche di prestazione definite in fase di progetto. E', inoltre, necessario richiedere la certificazione di conformità del prodotto alla normativa di riferimento [UNI 10593-1/2/3/4 "vetri piani uniti al perimetro"].

1) Eccessiva permeabilità al vapore della tenuta secondaria

Nei sistemi di vetrate unite al perimetro mediante silicone è necessario verificare che in intercapedine non siano contenuti gas quali argon, krypton, xeno e SF6 [esafluoruro di zolfo]. I sistemi di unione al perimetro in silicone, infatti sono estremamente permeabili nei confronti di questi gas. In fase di definizione del capitolato è necessario che il prodotto sia precisamente caratterizzato.

2) Dimensionamento inadeguato del cordolo in butile rispetto al modulo di esercizio

E' necessario verificare, in fase di appalto, le referenze delle ditte fornitrici ovvero le modalità di produzione e di controllo della qualità interna.

Difetti e prevenzione nelle fasi di lavorazioni in officina e trasporto

1) Posa del vetrocamera in luoghi ad altitudine sensibilmente diversa da quella di produzione;

E' necessario scegliere un produttore che garantisca il controllo della qualità del prodotto in opera.

2) Non perfetta adesione tra tenuta secondaria e sistema vetri/distanziatore [bisigillatura]

La non perfetta adesione tra il sigillante siliconico, le lastre e il distanziatore può determinare la formazione di sacche di ristagno d'aria [fiale o bolle]. Questo difetto può attivare il fenomeno dell'appannamento se si è in presenza di un distacco dal supporto [lastra o distanziatore] del sigillante primario. In questo caso si possono verificare transfer gassosi; E' necessario verificare la conformità del prodotto alle normative tecniche nazionali.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

1) Distacco adesivo dal supporto del sigillante primario [mono e bi-sigillatura]

Ciò si potrebbe manifestare nel caso in cui si verificano variazioni di pressione atmosferica ambientale durante le fasi di lavorazione e sigillatura;

2) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra capitolato e prodotto]

La maggior parte dei difetti citati non sono visibili. La qualità del prodotto [prodotto conforme] può essere garantita unicamente attraverso la certificazione. La norma UNI 10593-1/2/3/4 "vetri piani uniti al perimetro" definisce le prove di idoneità: prova del punto di rugiada iniziale, prova della tenuta stagna iniziale, prova di invecchiamento, prova di appannamento ai raggi ultravioletti.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Appannamento temporaneo concentrato e/o diffuso sulle superfici a contatto con l'intercapedine;
- Formazione di condensa. Il fenomeno si può manifestare in modo concentrato [in prossimità dei "bordi" del telaio mobile] o diffuso [su tutta la specchiatura della lastra].
- Appannamento uniforme e irreversibile della vetratura [fenomeno di corrosione con formazione di macchie bianche o di film opalescente].

Modi di guasto correlati

- **MdG 3-001** – Appannamento e corrosione
- **MdG 3-016** – Sostituzione gas intercapedine vetratura

3-003 corrosione della vetrazione



VARIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE OTTICHE E MECCANICHE DELLA VETRAZIONE PER FORMAZIONE SULLA SUPERFICIE ESTERNA DI DEPOSITI DI POLVERI E OSSIDI METALLICI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La deposizione secca di polveri e di ossidi metallici sulla superficie esterna della vetrazione determinano un'alterazione della trasparenza e modificano le caratteristiche ottiche del vetro. Questo corrisponde, in termini di controllo dei parametri tecnologici primari, alla riduzione del coefficiente di trasmissione [TL] e riflessione [RL] luminosa e alla modifica del fattore solare [FS] della vetrazione.

La deposizione secca generalmente non attiva meccanismi di alterazione relativi alla stabilità e alla devetrificazione della superficie trasparente ma può essere considerata come "difetto" che, se attivato, può generare un ulteriore guasto.

In generale, il deposito di particolato atmosferico e di ossidi metallici possono determinare la rigatura superficiale quando vengono impiegati prodotti e attrezzature inadeguate nella fase di manutenzione ordinaria della superficie trasparente [pulitura e lavaggio].

La distribuzione [concentrazione o diffusione sulla superficie] del particolato sulla vetrazione variano in relazione al tipo di deposizione:

- umida per dilavamento [la distribuzione delle macchie che compaiono sulla superficie dipende dallo scorrimento dell'acqua meteorica sulla vetrazione; il deposito, non uniforme, è a striature verticali];
- umida per pioggia di rimbalzo [il deposito si concentra in prossimità del corrente inferiore del serramento per la presenza di un davanzale o comunque in corrispondenza di un piano orizzontale; il deposito si può definire "a goccia"];
- secca [si tratta di una pellicola di polvere superficiale distribuita uniformemente].



Il deposito di polveri sulla superficie esterna della vetrazione. Tale deposito genera alterazioni di tipo estetico e modifica il coefficiente di TL della lastra [modificando i parametri ambientali - FLD]. [luogo: Hayatt Hotel, Charlotte, USA. Fonte: fotografia dell'autore].

L'intensità [quantità depositata] del fenomeno è correlata alle seguenti caratteristiche:

- geometria del serramento;
- rugosità della vetrazione;
- collocazione del serramento rispetto alla chiusura perimetrale [parete perimetrale verticale o copertura];
- esposizione del serramento [orientamento della vetrazione rispetto al vento, alla pioggia e all'irraggiamento];
- densità e configurazione del contesto fisico [posizionamento rispetto a possibili ostruzioni];
- modelli d'uso [dai quali dipende il coefficiente di manutenzione del vetro e la formazione di vapore acqueo];
- luogo di stoccaggio della vetrazione [posizionamento rispetto a possibili "sorgenti" di polveri in sospensione].

Tale variabilità incide sull'alterazione dei parametri tecnologici di riferimento e sul coefficiente di manutenzione del vetro.

Le polveri, quando vengono a contatto con soluzioni acquose [pioggia battente, di rimbalzo o condensazione superficiale], possono portare anche alla lisciviazione, ovvero ad alterazioni chimiche della vetrazione. Condizione necessaria per l'attivazione di questo guasto è che la soluzione sia di tipo basico. Il vetro, infatti, posto a contatto con soluzioni neutre oppure acide è estremamente stabile e non è soggetto a fenomeni evidenti di cessioni. Nel caso di soluzioni acquose basiche [presenza di polveri di cemento o impiego di detersivi altamente alcalini] i gruppi ossidrilici OH- entrano nel reticolo vetroso andando

a rompere con un meccanismo di sostituzione nucleofila i legami Si-O-Si fondamentali per la stabilità del reticolo. Questo processo porta alla dissoluzione del vetro; non solo, ma durante l'attacco passano in soluzione gli ioni sodio che rendono ancora più basilica la soluzione attaccante e quindi la dissoluzione è sempre più accelerata.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Proprietà della superficie trasparente inadeguate rispetto al contesto sollecitante [deposizione ad umido]
È necessario verificare le caratteristiche del vetro rispetto alle condizioni sollecitanti. Esistono vetri molto resistenti anche in ambiente basilico;
- 2) Inadeguato trattamento superficiale
La rugosità superficiale incide sull'intensità del deposito di polveri; È necessario verificare le condizioni al contorno;
- 3) Presenza di emergenze architettoniche non controllate
In questa fase è necessario controllare il dettaglio costruttivo [presenza di oggetti che incrementano la deposizione ad umido sulla vetratura o che impediscono l'asportazione delle polveri secche – riduzione dei moti convettivi], evitando che elementi architettonici possano incrementare o facilitare il deposito di particolato;
- 4) Prodotto inadeguato per la rimozione del particolato
Nel piano di manutenzione è necessario indicare la tipologia di prodotto da impiegare per la pulizia e le procedure da adottare [modalità e strumenti], in riferimento al tipo di vetratura scelto e al contesto sollecitante.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

- 1) Lisciviazione determinata da modalità di stoccaggio inadeguate
Durante questa fase le lastre devono essere protette dal deposito di polveri [derivanti soprattutto dalla produzione di cls]. Nel caso di impilaggio di lastre senza ricambi di aria si possono verificare fenomeni di condensazione. L'umidità penetra capillarmente tra le lastre e reagisce con il vetro. I prodotti della reazione non vengono eliminati e la successiva umidità incrementerà il guasto.
- 2) Lisciviazione determinata da inadeguate protezioni durante la posa
Le lastre di vetro devono essere protette dall'umidità proveniente dal calcestruzzo fresco e dall'intonaco [attacco da soluzioni basiliche].

Difetti e prevenzione in fase di gestione

- 1) Formazione di "croste" per inadeguata [assente] manutenzione ordinaria [pulizia].
È necessario garantire una pulizia costante delle superfici trasparenti. Inoltre, è opportuno accertarsi che i prodotti impiegati per la pulizia consentano la rimozione delle polveri senza alterare le caratteristiche ottiche della vetratura e senza provocare rigature.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Variazione della colorazione e del coefficiente di riflessione delle superfici trasparenti. La vetratura presenta porzioni di superficie cangianti caratterizzate da una tipica colorazione "azzurrina" [iridescenza].
- Lisciviazione e appannamento permanente [corrosione];

Modi di guasto correlati

- **MdG 3-001** - Appannamento e corrosione
- **MdG 3-015** - Manutenzione scorretta

3-004 corrosione dei coating della vetrazione



CORROSIONE DELLO STRATO DI RIVESTIMENTO [COATING] DELLA VETRAZIONE

[Modifica delle caratteristiche ottiche e meccaniche della vetrazione per corrosione dello strato di rivestimento]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Le prestazioni termiche [FS - fattore solare e U value - termotrasmittanza] e meccaniche delle singole lastre possono essere migliorate attraverso il "deposito" superficiale di metalli nobili o di ossidi di metalli mono e multistrato. Il posizionamento dello strato di rivestimento sulla faccia della lastra rispetto all'ambiente sollecitante di contatto e il procedimento tecnologico di produzione incidono sia sul decadimento prestazionale sia sul decadimento fisico della vetrazione.

Il processo di deposizione degli ossidi o dei metalli sulla vetrazione può avvenire a caldo [processo pirolitico - polverizzazione di ossidi metallici sulla linea float] o a freddo [processo magnetronico (sputtering) - sotto vuoto spinto in campo elettromagnetico]. Le vetrazioni dotate di coating pirolitici in faccia 1 [esposte all'ambiente esterno] sono soggette ad alterazioni cromatiche [macchie] dovute al deposito secco di polveri che possono portare alla variazione delle caratteristiche ottiche [riduzione del coefficiente di trasmissione luminosa, riflessione luminosa e dell'emissività]. La rimozione delle polveri, se non correttamente eseguita, può attivare fenomeni di alterazione meccanica [abrasioni]. Quando lo strato di rivestimento è, invece, posizionato in faccia 2 o 3 [vetrazioni unite al perimetro] non si manifestano fenomeni di degrado.

Un'attenzione maggiore, in fase di progetto e nelle lavorazioni in officina, deve essere rivolta alle vetrazioni dotate di coating magnetronici. Quando il rivestimento è collocato in faccia 1, ovvero se è a diretto contatto con l'ambiente esterno, o se il rivestimento è collocato in faccia 2 e 3 nel caso di vetrazione unita al perimetro soggetta a fenomeni di penetrazione del vapore acqueo, la lastra è soggetta a perdita di stabilità chimica.



[Fonte: 2003, Lounghram P., Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture, Birkhauser, Basel, pp. 44].

L'attivazione del fenomeno di corrosione è legata:

- alla presenza di acqua [pioggia, film di condensa, vapore acqueo];
- al ciclo di bagnatura-asciugatura [Te];

L'intensità del fenomeno dipende dal rapporto tra superficie di attacco e volume della soluzione estraente.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Inadeguata scelta della tipologia di vetrazione [lastra+rivestimento]

E' necessario verificare, in caso di adozione di lastra singola rivestita, il procedimento di rivestimento e il posizionamento sulla superficie vetrata in relazione alle caratteristiche del contesto sollecitante [ambiente interno o esterno].

La scelta inadeguata o non controllata incide sul degrado della vetrazione.

DEPOSITO DI OLI PLASTIFICANTI PROVENIENTI DA SIGILLANTI INADEGUATI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Il vetro si scalda per assorbimento della radiazione solare. L'aumento della temperatura superficiale dipende dalle caratteristiche fisiche ed energetiche delle vetrazioni, delle intercapedini e dalle condizioni al contorno [temperatura ambiente interno e ambiente esterno], e può determinare una alterazione progressiva delle caratteristiche meccaniche dei sigillanti e delle guarnizioni. Ad un rammollimento iniziale dei sigillanti può seguire la loro perdita di aderenza e di coesione. La colatura degli oli plastificanti sulla vetratura è l'effetto visibile del guasto.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Scelta inadeguata del vetrocamera

E' necessario definire correttamente le specifiche dell'elemento tecnico. In fase capitolare verificare la conformità del prodotto scelto alle specifiche di prestazione definite.

2) Scelta inadeguata del sigillante

E' necessario definire correttamente le specifiche dell'elemento tecnico. In fase capitolare verificare la conformità del prodotto scelto alle specifiche di prestazione definite.

In fase di produzione [e progetto del prodotto] è necessario verificare, in relazione alle possibili sollecitazioni, al modello d'uso e al posizionamento del serramento, la temperatura di esercizio del sigillante. I sigillanti butilici, acrilici e poliuretanicici hanno una temperatura di esercizio massima pari a 70°C.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Colatura
- Variazione della colorazione delle superfici trasparenti.

Modi di guasto correlati

In generale questo MdG attiva alterazioni cromatiche dei profili.

- MdG 3-021 – Corrosione da contatto dei profili in alluminio.

3-006 rottura vetrazione temprata per impurità NiSO



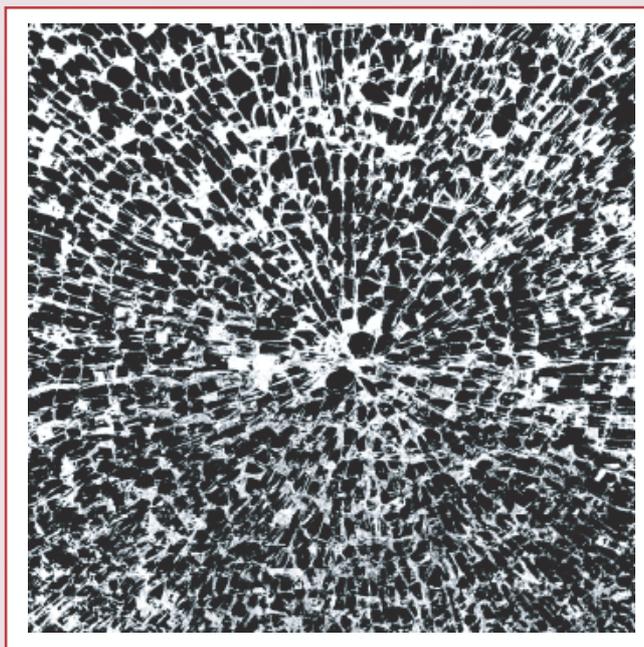
ROTTURA DELLA VETRAZIONE PER DIFETTO DI PRODOTTO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Durante il processo produttivo della vetrazione alcune impurità [inclusioni non visibili a occhio nudo] possono miscelarsi all'impasto del vetro. La presenza di impurità [zolfo e nichel] è un difetto del prodotto che non necessariamente porta al degrado o al guasto. L'attivazione del guasto [rottura] per la presenza di questi cristalli dipende:

- dal contesto sollecitante esterno [elevate T_e ed elevate escursioni termiche];
- dalla dimensione e dal posizionamento dei cristalli di solfuro di nichel nella vetrazione;
- dal processo produttivo.

Nei vetri trattati con tempra termica la presenza di piccoli cristalli di solfuro di nichel [valori ammissibili tra il 4% e il 7% al variare dello spessore della lastra] può generare una rottura spontanea anche dopo la posa in opera.



[Fonte: 2003, Lounghram P., *Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture*, Birkhauser, Basel, pp. 11].

La rottura è determinata da una variazione di volume delle impurità intrappolate nello spessore della vetrazione. Durante il trattamento termico la lastra di vetro piana viene riscaldata fino alla temperatura di rammollimento [620-640 °C]. Quando la massa vetrosa ha raggiunto questa temperatura viene rapidamente raffreddata. Gli strati superficiali esterni si raffreddano e si contraggono più velocemente rispetto alla parte interna della lastra. Durante questo processo di riscaldamento e rapido raffreddamento le particelle di solfuro di nichel subiscono una "cristallizzazione" ovvero modificano la loro struttura con le alte temperature senza riuscire, a causa del rapido raffreddamento, a ritornare alla struttura originaria. La rottura spontanea viene attivata perché:

- le particelle, nel tempo, tendono a ritornare alla struttura di origine [propria delle basse temperature];
- le particelle possono subire una variazione di volume per riscaldamento della vetrazione [carico termico dovuto alla radiazione diretta].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

Nella fase di selezione del prodotto è necessario verificare il tipo di trattamento subito dalla vetrazione in relazione al tipo di applicazione e al contesto sollecitante. E' necessario richiedere la certificazione di conformità del prodotto alla normativa di riferimento.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- rottura "radiale" della vetrazione in piccoli frammenti smussati [frammentazione a forma di "farfalla"]; l'origine [il centro] della rottura è in corrispondenza dell'impurità intrappolata nella lastra.

ROTTURA DELLA VETRAZIONE PER ECCESSIVA DEFORMABILITÀ DEL TELAIO

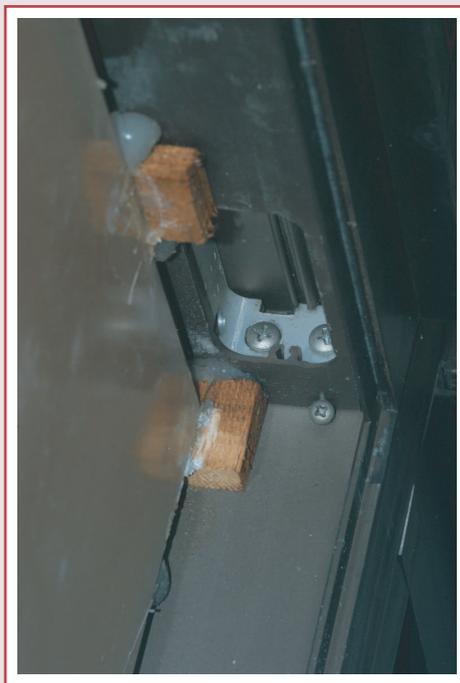
Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Il telaio mobile è soggetto a continue sollecitazioni determinate dalla movimentazione [apertura e chiusura] del battente. Queste, caratterizzate da intensità variabile in funzione del tipo di apertura, della ripetitività e dell'intensità d'uso possono portare a deformazioni e cedimenti del telaio mobile. In generale le deformazioni del telaio mobile sono determinate da:

- cedimenti degli accessori di apertura [o del sistema di fissaggio];
- non corretta ripartizione del peso proprio della vetrazione sul telaio ad anta aperta;
- spostamento e/o cedimento dei materiali di contatto nel telaio [guarnizioni, tasselli e materiale posteriore di riempimento] con conseguente alterazione della ripartizione dei carichi della vetrazione sul telaio;
- non corretto posizionamento dei materiali di contatto nel telaio [guarnizioni, tasselli e materiale posteriore di riempimento] con conseguente alterazione della ripartizione dei carichi della vetrazione sul telaio;
- eccessive spinte del vento rispetto al dimensionamento e alla forma del serramento. Il vento esercita sulla superficie trasparente un carico che viene trasmesso con intensità differente sui traversi e sui montanti. La pressione del vento può causare deformazioni diversificate del telaio mobile che, nel caso di forme rettangolari della specchiatura, generano stati tensionali nella vetrazione variabili;
- peso e dimensioni eccessive della vetrazione rispetto al dimensionamento del telaio [ridotta resistenza meccanica];
- cedimenti della struttura portante, tendenzialmente legati ai cedimenti differenziati delle fondazioni [cedimento del terreno, variazione dell'intensità dei carichi trasmessi alle strutture verticali] con conseguente cedimento dei punti di vincolo del serramento.

Il vetro possiede una rigidità meccanica elevata. La deformazione del telaio determina una rottura della vetrazione quando:

- la vetrazione presenta già in fase di stoccaggio e assemblaggio dei difetti quali crepe e graffi superficiali. In caso di sollecitazione meccanica [con conseguente superamento della tensione critica ammissibile del vetro], si assiste ad una crescita della fenditura; la fenditura si allarga in modo instabile fino a giungere ad un cedimento improvviso del vetro;
- gli elementi di contatto tra vetrazione e telaio [guarnizioni e sigillanti] presentano un modulo elastico non sufficiente a contrastare le deformazioni del telaio rispetto alla resistenza a trazione e flessione del vetro;
- la deformazione del telaio genera forze maggiori rispetto alle capacità resistive ammissibili [a trazione e flessione] della vetrazione.



[il non corretto posizionamento dei materiali di contatto nel telaio -tasselli- può portare ad una alterazione della ripartizione dei carichi della vetrazione sul telaio. Fonte: fotografia dell'autore].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Dimensionamento insufficiente del telaio rispetto al peso e alla dimensione della vetrazione
E' necessario verificare il peso proprio della vetrazione rispetto alla sezione portante del telaio;
- 2) Inadeguato dimensionamento del telaio in relazione alle sollecitazioni del vento
E' necessario verificare la conformità del prodotto rispetto alle specifiche di prestazione segnalate nel capitolato definite in funzione delle sollecitazioni esterne;
- 3) Inadeguata scelta della tecnologia costruttiva del serramento in relazione alle sollecitazioni meccaniche definite
E' necessario verificare la conformità del prodotto rispetto alle specifiche di prestazione segnalate nel capitolato .

Prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

- 1) Deformazione dei profili per variazioni di temperatura
E' necessario verificare la stabilità dei profili [variabile in relazione al materiale che costituisce il profilo del serramento] alle sollecitazioni termiche. Le modalità di stoccaggio [antecedenti alla realizzazione del serramento] devono essere definite, in funzione di questo indicatore, per evitare l'insorgere di stati tensionali a serramento assemblato;
- 2) Deformazione dei profili per assorbimento vapore acqueo
E' necessario verificare la stabilità dei profili [variabile in relazione alla tecnologia costruttiva del serramento] all'acqua e al vapore acqueo. Le modalità di stoccaggio [antecedenti alla realizzazione del serramento] devono essere definite in funzione di questo indicatore per evitare l'insorgere di stati tensionali a serramento assemblato.

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Deformazione del telaio mobile per errori di posa in opera
E' necessario verificare la planarità dei montanti e dei correnti del telaio fisso rispetto al varco di alloggiamento del serramento e che non vi siano forzature nella posa;
- 2) Deformazione del telaio mobile per variazioni di temperatura
E' necessario verificare la stabilità del serramento [variabile in relazione al materiale costituente il telaio] alle sollecitazioni termiche. Le modalità [caratterizzazione del luogo e posizione del serramento] di stoccaggio [antecedenti alla fase di posa in opera] devono essere definite in funzione di questo indicatore per evitare l'insorgere di stati tensionali a serramento assemblato;
- 3) Deformazione del telaio mobile per assorbimento vapore acqueo
E' necessario verificare la stabilità dei profili [variabile in relazione al materiale costituente il telaio] all'acqua e al vapore acqueo. Le modalità [caratterizzazione del luogo e posizione del serramento] di stoccaggio [antecedenti alla fase di posa in opera] devono essere definite in funzione di questo indicatore per evitare l'insorgere di stati tensionali a serramento assemblato.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Presenza di carichi appesi sul telaio mobile
Gli accessori per la movimentazione risultano soggetti a carichi non previsti che portano alla deformazione dei punti di vincolo tra telaio fisso e telaio mobile. E' necessario evitare il posizionamento di pesi in corrispondenza dei cremonesi;
- 2) Sollecitazioni continue
E' necessario accompagnare l'apertura e la chiusura della finestra per evitare inopportune sollecitazioni meccaniche. E' necessario, inoltre, controllare gli scuotimenti determinati dalle spinte del vento.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetratura e dal tipo di azione sollecitante.

- Frattura composta multidirezionale dal centro verso il perimetro – vetro retinato;
- Frattura composta multidirezionale nelle zone periferiche [perimetro] – vetro float, vetro tirato, vetro colato, vetro borosilicatico;
- Frattura con andamento tendenzialmente rettilineo.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-010 – Azione del vento.
- MdG 3-011 – Urto accidentale di corpo contundente

3-008 rottura vetrazione per surriscaldamento



ROTTURA VETRAZIONE DA SURRISCALDAMENTO [vetrata isolante con schermature in intercapedine]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Il posizionamento delle schermature nell'intercapedine del vetrocamera può generare innalzamenti della temperatura dell'aria/gas. Tale innalzamento è dovuto all'assorbimento, da parte dell'elemento tecnico [sistema di controllo solare], della componente della radiazione solare trasmessa dalla lastra esterna, e la successiva re-immissione energetica nell'intercapedine.

Il carico termico aggiuntivo può provocare un aumento della pressione nell'intercapedine. Le conseguenze sono un aumento delle tensioni meccaniche nelle vetrazioni che portano a rigonfiamenti e a rotture. Il collasso della vetrazione, comunque improvviso, può essere accelerato dalla presenza di micro-crepe.

Per controllare questo meccanismo di alterazione [aumento della temperatura in intercapedine], risulta necessario impiegare sistemi di controllo solare con un elevato coefficiente di riflessione. Questo, infatti, garantisce una minima variazione della lunghezza d'onda e di conseguenza permette una trasmissione diretta della radiazione attraverso le lastre.



Rottura della vetrazione per stress termico. [Fonte: 2003, Lounghram P., Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture, Birkhauser, Basel, pp. 34].

L'attivazione del guasto e la sua intensità dipendono da:

- contesto climatico [temperatura dell'aria esterna, vento, scarto termico giornaliero, ecc.];
- altitudine;
- orientamento della superficie trasparente [apporto energetico in funzione dell'irraggiamento];
- variazione delle ombre proiettate sulla vetrazione [tale indicatore deve essere considerato in rapporto alla dimensione della lastra];
- dimensioni della specchiatura;
- dimensioni dell'intercapedine;
- caratteristiche energetiche e fisiche delle vetrazioni;
- caratteristiche energetiche e ottiche del sistema di controllo solare, suo posizionamento, tipo di fissaggio e modello d'uso;
- tipologia e tecnologia costruttiva del telaio [telai rigidi impediscono le deformazioni della vetrazione];
- caratterizzazione degli elementi di contatto tra vetrazione e telaio [guarnizioni e sigillanti];
- imperfezioni dei bordi delle vetrazioni;
- spessori della vetrazione.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata del vetrocamera [inadeguata caratterizzazione energetica delle superfici trasparenti]
Le prestazioni del prodotto potrebbero non rispondere alle specifiche definite sul capitolato. E' necessario verificare che le prestazioni segnalate siano corrette o accettabili rispetto alla variabilità del contesto sollecitante [fisico-ambientale e climatico], del modello d'uso, delle caratteristiche energetiche della vetratura e delle dimensioni del serramento.

Difetti e prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

- 1) Scelta inadeguata del sistema di controllo solare
E' necessario verificare l'andamento della temperatura in intercapedine al variare delle sollecitazioni esterne e delle caratteristiche energetiche e fisiche delle vetrazioni. Questa verifica potrebbe portare alla limitazione dei campi di impiego del prodotto.
- 2) Posizionamento inadeguato del coating bassoemissivo

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra prodotto e specifiche di prestazione]
E' inoltre necessario verificare la conformità del prodotto alle normative tecniche nazionali e al capitolato.

Difetti e prevenzione in fase di gestione

- 1) Uso inadeguato del sistema di controllo solare.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Alterazione delle caratteristiche ottiche della vetratura [variazione del coefficiente di riflessione determinato dal rigonfiamento della lastra];
- Rottura della vetratura. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetratura e dal tipo di azione sollecitante.
- Frattura composta multidirezionale dal centro verso il perimetro;
- Frattura composta multidirezionale nelle zone periferiche [perimetro];
- Frattura con andamento tendenzialmente rettilineo.

3-009 differenza temperatura



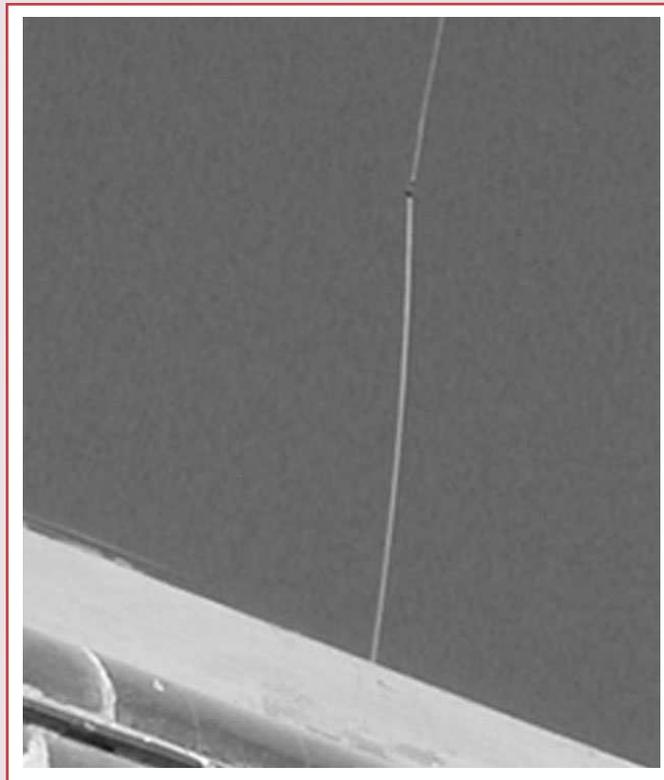
ROTTURA VETRAZIONE PER DIFFERENZA DI TEMPERATURA SUPERFICIALE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nelle lastre delle vetrazioni unite al perimetro [vetrocamera] si possono verificare delle differenze di temperatura superficiale. Tale differenza genera degli stati tensionali nel vetro [dilatazione nel centro e compressione nel bordo] che possono portare a deformazioni irreversibili della superficie trasparente [rottura per shock termico].

La temperatura superficiale in corrispondenza del bordo del vetrocamera è generalmente inferiore alla temperatura superficiale misurata nel centro della lastra. L'intensità di tale differenza dipende dai seguenti fattori:

- contesto climatico [temperatura dell'aria esterna, vento, scarto termico giornaliero, ecc.];
- temperatura ambiente;
- caratteristiche energetiche e fisiche delle vetrazioni [incollaggio di pellicole riflettenti o assorbenti che aumentano il coefficiente di assorbimento delle lastre];
- tipo di gas impiegato nell'intercapedine;
- dimensione e orientamento della superficie trasparente;
- caratterizzazione degli elementi distanziatori [spacer e sigillanti];
- tipologia e tecnologia costruttiva del telaio [materiale, sezione del telaio e presenza di scanalatura nel telaio mobile];
- variazione delle ombre proiettate sulla vetrazione [tale indicatore deve essere considerato in rapporto alla dimensione della lastra].



Rottura della vetrazione per stress termico. [Fonte: fotografia dell'autore].

La differenza di temperatura superficiale dipende dalla variazione della resistenza termica del sistema. In corrispondenza del distanziatore [sostegno statico delle due lastre], infatti, si verifica un ponte termico: la resistenza termica in questo punto è inferiore rispetto alla resistenza termica valutata nel centro della vetrazione.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Scelta inadeguata del vetrocamera [caratteristiche energetiche]

Le prestazioni del prodotto potrebbero non rispondere alle specifiche definite sul capitolato. È necessario verificare che le prestazioni segnalate siano corrette o accettabili rispetto alla variabilità del contesto sollecitante [fisico-ambientale e climatico], del modello d'uso, delle caratteristiche energetiche della vetrazione e delle dimensioni del serramento.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Rottura della vetrazione. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetrazione e dal tipo di azione sollecitante.
- Frattura composta multidirezionale.

ROTTURA VETRAZIONE PER AZIONE DINAMICA DEL VENTO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Il comportamento della vetratura al variare della pressione esercitata da un carico dinamico [e temporaneo] quale il vento dipende dall'estensione della superficie sollecitata, dalla durata e dall'intensità della sollecitazione e dallo spessore della lastra in funzione della sua dimensione. Il vento esercita sulla superficie trasparente un carico che viene trasmesso, con intensità differente, sui traversi e sui montanti del telaio. La pressione del vento pertanto può causare deformazioni diversificate che, nel caso di forme rettangolari della specchiatura, generano stati tensionali nella vetratura. Quando la pressione esercitata dal vento è maggiore rispetto alla deformazione massima ammissibile [superamento della freccia massima del bordo più deformato e/o superamento della freccia massima centrale] si giunge alla rottura. In caso di rottura il vetro deve possedere una capacità portante residua per controllare le modalità di distacco [requisito di sicurezza].



Rottura della vetratura per azione del vento. [Fonte: 2003, Loughram P., Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture, Birkhauser, Basel, pp. 142].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata della vetratura rispetto ai requisiti di sicurezza
E' necessario verificare, in relazione alle possibili sollecitazioni, al modello d'uso e al posizionamento della serramento, i parametri di sicurezza adottati. La valutazione dei carichi dinamici esercitati dal vento viene fatta in riferimento alla normativa UNI 7697.

Difetti e prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

- 1) Difetti dovuti alle lavorazioni di molatura, svasatura e foratura
Il vetro deve essere lavorato in modo completo e definitivo prima del trattamento termico. Non è ammessa alcuna ripresa delle lavorazioni dopo la tempra;
- 2) Difetti a seguito del trattamento di rinforzo meccanico [tempra]
E' necessario verificare che la parte in vetro temprata o indurita soddisfi le prescrizioni di fabbricazione [sollecitazione di compressione della superficie].

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

- 1) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra specifiche di prestazione e prodotto]
E' necessario verificare la conformità del prodotto al capitolato di fabbricazione

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Rottura e distacco della vetratura. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetratura e dal tipo di azione sollecitante.

ROTTURA VETRAZIONE [ED EVENTUALE DEFORMAZIONE PLASTICA DEL TELAIO] PER URTO DI CORPO CONTUNDENTE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

L'urto accidentale di un corpo contundente, ovvero il verificarsi di un carico concentrato improvviso, può portare direttamente alla rottura della vetratura. Il comportamento della vetratura al variare della pressione esercitata dipende dalla superficie sollecitata, dalla durata e dall'intensità della sollecitazione e dallo spessore della lastra in funzione della sua dimensione.



[a sinistra - Fonte: 2003, Loughram P., *Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture*, Birkhauser, Basel, p. 16 ; a destra fotografia dell'autore].

Quando la pressione esercitata dal corpo contundente [oggetti contundenti, atti vandalici, ecc.] è maggiore rispetto alla deformazione elastica limite ammissibile della vetratura [in funzione del carico ammissibile] si giunge alla rottura. L'aspetto importante da valutare è l'effetto del cedimento dell'elemento per garantire il soddisfacimento dei requisiti relativi alla sicurezza [structural safety and protection against other actions]. In caso di rottura il vetro deve possedere una capacità portante residua per controllare le modalità di distacco.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata della vetratura rispetto ai requisiti di sicurezza
E' necessario verificare, in relazione alle possibili sollecitazioni, al modello d'uso e al posizionamento della serramento, i parametri di sicurezza adottati.

Prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

- 1) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra specifiche di prestazione e prodotto]
E' necessario verificare la conformità del prodotto alle normative tecniche nazionali e al capitolato di fabbricazione.
- 2) Lavorazioni inopportune
E' necessario porre attenzione alle attività che si svolgono in prossimità della vetratura.
Inoltre, è opportuno ricordare che se il vetro ha subito un trattamento termico non può essere tagliato o lavorato in cantiere.
Tali lavorazioni possono alterare le caratteristiche di resistenza meccanica.
- 3) Danneggiamento ai bordi e sugli spigoli della lastra
Durante la movimentazione è necessario porre attenzione e cura affinché non si verifichino danni a bordi e spigoli. Tali difetti possono alterare le caratteristiche di resistenza meccanica

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Rottura della vetratura. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetratura e dal tipo di azione sollecitante..

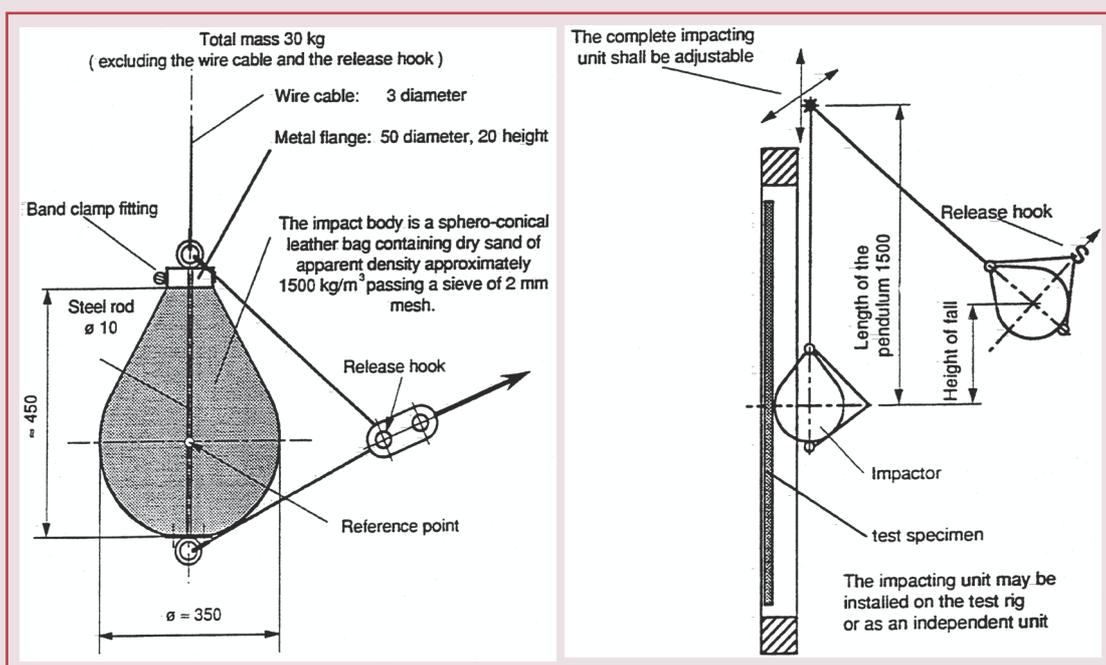
3-012 urto di persone o animali



ROTTURA VETRAZIONE [ED EVENTUALE DEFORMAZIONE PLASTICA DEL TELAIO] PER URTO PERSONE/ANIMALI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Questo Modo di Guasto è assimilabile a quello precedente in termini di meccanismi di alterazione. L'urto accidentale di un corpo molle [persone e animali], ovvero il verificarsi di un carico concentrato improvviso, può portare direttamente alla rottura della vetrazione. Il comportamento della vetrazione al variare della pressione esercitata dipende dalla superficie sollecitata, dalla durata e dall'intensità della sollecitazione e dallo spessore della lastra in funzione alla sua dimensione. Anche in questo caso l'aspetto importante da valutare è il comportamento in caso di rottura dell'elemento in relazione alla sicurezza delle persone. In caso di rottura il vetro non deve consentire la fuoriuscita del corpo molle in oggetto [controllo della capacità portante residua].



[Fonte: UNI ENV 1629, Windows, doors, shutters - Burglar resistance - Resistance under dynamic loading - Test method]

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata della vetrazione rispetto ai requisiti di sicurezza
E' necessario verificare, in relazione alle possibili sollecitazioni, al modello d'uso e al posizionamento della serramento, i parametri di sicurezza adottati.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

- 1) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra specifiche di progetto e inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra specifiche di prestazione e prodotto]
E' necessario verificare la conformità del prodotto alle normative tecniche nazionali e al capitolato di fabbricazione.
- 2) Lavorazioni inopportune
Il vetro non può essere tagliato né lavorato perché ha subito un trattamento termico. Tali lavorazioni possono alterare le caratteristiche di resistenza meccanica.
- 3) Danneggiamento ai bordi e sugli spigoli della lastra
Durante la movimentazione è necessario porre attenzione e cura affinché non si verifichino danni a bordi e spigoli. Tali difetti possono alterare le caratteristiche di resistenza meccanica.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Rottura della vetrazione. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetrazione e dal tipo di azione sollecitante.

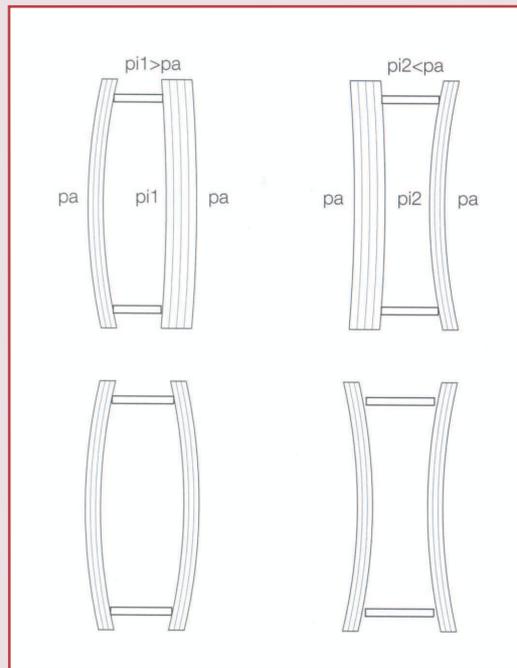
3-013 inadeguata equalizzazione pressioni



ROTTURA VETRAZIONE ISOLATA PER INADEGUATA EQUALIZZAZIONE DELLE PRESSIONI DURANTE IL MONTAGGIO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nel caso di vetrocamera la variazione della pressione atmosferica esterna rispetto alla pressione atmosferica in vetrocamera può generare la distorsione delle lastre [rigonfiamento o assottigliamento]. La pressione atmosferica in intercapedine corrisponde alla pressione atmosferica durante le fasi di sigillatura del vetrocamera. Se la pressione esterna aumenta rispetto alla pressione in intercapedine le lastre vengono premute verso l'interno [effetto clessidra]. Se, al contrario, la pressione interna è maggiore rispetto a quella esterna si può determinare uno spanciamento verso l'esterno. Tali fenomeni vengono accentuati in caso di composizione asimmetrica del vetrocamera [lastre con diverso spessore]. L'attivazione di questo meccanismo di alterazione può generare un guasto nella sigillatura di tenuta del vetrocamera e, in casi estremi, la rottura della vetrazione.



[Fonte: Sobek W., Kutterer M., 1998, "Costruire con il vetro. Rigidità e comportamento sotto carico", in Schittich C., Staib G., Balchow D., Schuler M., Sobek W., Atlante del vetro, Utet, Torino, p. 70]

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

Posa del vetrocamera in luoghi ad altitudine sensibilmente diversa da quella di produzione.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Appannamento in vetrocamera. Questo potrebbe essere il primo segnale di attivazione del guasto.
- Frattura composta multidirezionale. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetrazione e dal tipo di azione sollecitante.

Modi di guasto correlati

MdG 3-002 – Condensa interna alla vetrazione.

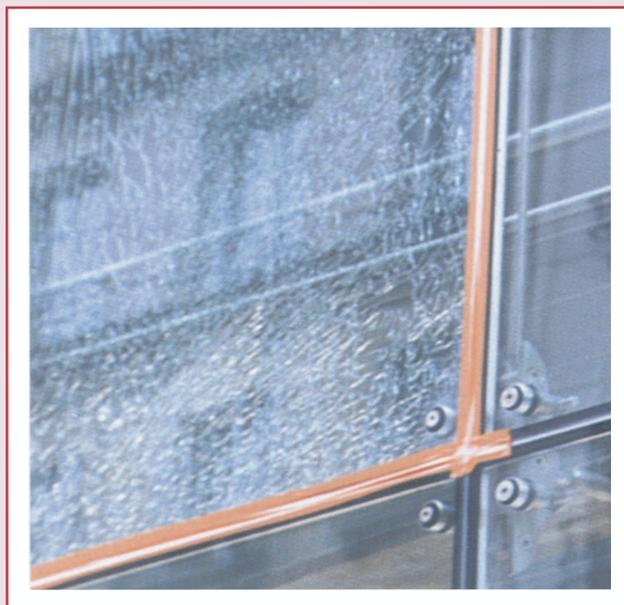
3-014 errori di montaggio



ROTTURA DELLA VETRAZIONE PER SCORRETTO MONTAGGIO DEI TASSELLI SEPARATORI E/O GUARNIZIONI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

L'alloggiamento della vetratura nel profilo del battente può avvenire secondo due tecnologie a seconda del tipo di serramento: a infilare e mediante fermavetro. In entrambi i casi una non corretta sigillatura [cattiva adesione del sigillante per scelta inadeguata rispetto alle condizioni di applicazione o per cattiva preparazione del supporto], una non corretta collocazione delle guarnizioni e un non corretto posizionamento dei tasselli separatori, possono generare una anomala distribuzione dei carichi nel telaio. Questo fenomeno può portare a deformazioni dei profili non ammissibili rispetto alla vetratura.



[Fonte: 2003, Loughram P., *Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture*, Birkhauser, Basel, pp. 114]

Le vetrazioni devono essere separate dal vano del telaio [sempre in funzione della tecnologia adottata] da una serie di spessori e tasselli [in legno o elastomero] che hanno funzione:

- di sostenere il vetro e di scaricarne il peso per evitare eventuali deformazioni centrali [anta a battente] [tasselli portanti];
- di mantenere il vetro nella posizione prestabilita [limitare le movimentazioni durante l'uso e la manovra delle ante, durante il trasporto e la posa] [tasselli perimetrali];
- di mantenere il vetro nella giusta posizione rispetto della sede [limitare le movimentazioni durante l'uso e la manovra delle ante, limitare gli effetti dei colpi di vento] [tasselli laterali];
- di impedire il contatto tra vetro e teste delle viti di fissaggio o altre parti strutturali.

Se mal posizionati o se mal dimensionati [lunghezza e larghezza rispetto alla lastra] questi elementi perdono la loro funzione di "assorbitore" delle tensioni che si vengono a creare tra telaio e vetratura a causa delle continue sollecitazioni meccaniche [carico del vento, uso, ecc.] e termiche. La perdita di questa funzione può generare la rottura della vetratura

Difetti e prevenzione nelle fasi di lavorazioni in officina e trasporto

1) Incompatibilità del materiale rispetto alla sollecitazione

E' necessario verificare l'uso del prodotto per la realizzazione della tassellatura rispetto alla dimensione e al peso proprio della vetratura per ridurre la pressione di contatto delle singole lastre allo spigolo;

2) Assenza di supporto piano di appoggio del tassello;

3) Assenza di adattatori nel caso di profilo non dotato di supporto piano.

Prevenzione nelle fasi di gestione

1) Alterazione dei tasselli alla compressione.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

Rottura della vetratura. La tipologia [orientamento e andamento] e la distribuzione [traccia dominante multipla, semplice o composta] delle fenditure e delle fratture dipendono dal tipo di vetratura e dal tipo di azione sollecitante.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-007 – Deformabilità del telaio
- MdG 3-017 – Usura o carico eccessivo .

3-015 manutenzione scorretta



CORRASIONE [RIGATURA] VETRAZIONE PER MANUTENZIONE SCORRETTA

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La cattiva manutenzione e la non adeguata pulizia delle superfici possono provocare alterazioni di aspetto. Il particolato atmosferico che si deposita sulla superficie trasparente deve essere rimosso. La rimozione con strumenti non adeguati o con prodotti aggressivi o "secchi" può portare alla formazione di rigature visibili e alla formazione di micro-crepe non percepibili a occhio nudo. Le rigature generano una alterazione delle caratteristiche ottiche della vetrazione [riduzione del coefficiente di trasmissione luminosa]. Inoltre, se le microcrepe sono accoppiate al fenomeno della lisciviazione, ovvero deposizione umida di particolato dovuta alla formazione di una pellicola di acqua derivante da pioggia battente o da formazione di condensazione superficiale, si può attivare la devettrificazione della lastra.



Fratture sulla superficie del vetro messe in evidenza mediante bagnatura della lastra con sodio
[Fonte: Sobek W., Kutterer M., 1998, "Costruire con il vetro. Rigidità e comportamento sotto carico", in Schittich C., Staib G., Balchow D., Schuler M., Sobek W., Atlante del vetro, Utet, Torino].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Prodotto inadeguato per la rimozione del particolato.

Nel piano di manutenzione è necessario indicare la tipologia di prodotto da impiegare per la pulizia e le procedure da adottare [modalità e strumenti], in riferimento al tipo di vetrazione scelto e al contesto sollecitante.

Difetti e prevenzione in fase di gestione

1) Formazione di "croste" per inadeguata [assente] manutenzione ordinaria [pulizia].

E' necessario garantire una pulizia costante delle superfici trasparenti. Inoltre, è opportuno accertarsi che i prodotti impiegati per la pulizia consentano la rimozione delle polveri senza alterare le caratteristiche ottiche della vetrazione e senza provocare rigature.

2) Scelta inadeguata del prodotto per la rimozione del particolato

Nel piano di manutenzione è necessario indicare la tipologia di prodotto da impiegare per la pulizia e le procedure da adottare [modalità e strumenti], in riferimento al tipo di vetrazione scelto e al contesto sollecitante.

3) Scelta inadeguata delle attrezzature per la pulizia

Prevenzione in fase di cantiere (Controlli in corso d'opera)

1) Assenza di prima pulizia in cantiere durante le fasi di stoccaggio, assemblaggio e posa in opera.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Lisciviazione e appannamento;
- Rigature visibili;
- Graffi sottili paralleli e non molto profondi.

Modi di guasto correlati

MdG 3-003 – Corrosione vetrazione

3-016 sostituzione gas intercapedine vetrazione



RIDUZIONE RESISTENZA TERMICA PER SOSTITUZIONE GAS IN INTERCAPEDINE VETRAZIONE DA ECCESSIVA PERMEABILITA' DELLE SIGILLATURE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La modifica delle caratteristiche ottiche della vetrazione isolante per formazione di condensa nell'intercapedine [cfr. MdG 302] determinata dal difetto di tenuta della sigillatura, innesca un ulteriore guasto: la riduzione della resistenza termica della vetrazione. La perdita di tenuta della sigillatura determina uno scambio gassoso tra l'intercapedine e l'aria esterna ovvero si assiste ad una variazione della pressione di vapore in intercapedine [pvint]. Ne consegue una riduzione della resistenza termica del vetrocamera.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

Nella messa a punto del capitolato è necessario definire le condizioni al contorno e le specifiche di prestazione del serramento in relazione a queste. Nella fase di selezione del prodotto è necessario controllare che le caratteristiche del prodotto rispondano alle specifiche di prestazione definite in fase di progetto. E', inoltre, necessario richiedere la certificazione di conformità del prodotto alla normativa di riferimento [UNI 10593-1/2/3/4 "vetri piani uniti al perimetro"].

Prevenzione in fase di gestione

1) Variazione della permeabilità al vapore della tenuta

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

1) Inadeguato controllo del prodotto [assenza di corrispondenza tra capitolato e prodotto]

È inoltre necessario verificare la conformità del prodotto alle normative tecniche nazionali e al capitolato di fabbricazione.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Appannamento [temporaneo e/o irreversibile] sulle superfici a contatto con l'intercapedine;
- Variazione della Tsi;
- Alterazione della percezione di benessere [sentire caldo o freddo].

Modi di guasto correlati

MdG 3-002 – Condensa interna alla vetrazione.

3-017 usura o carico eccessivo

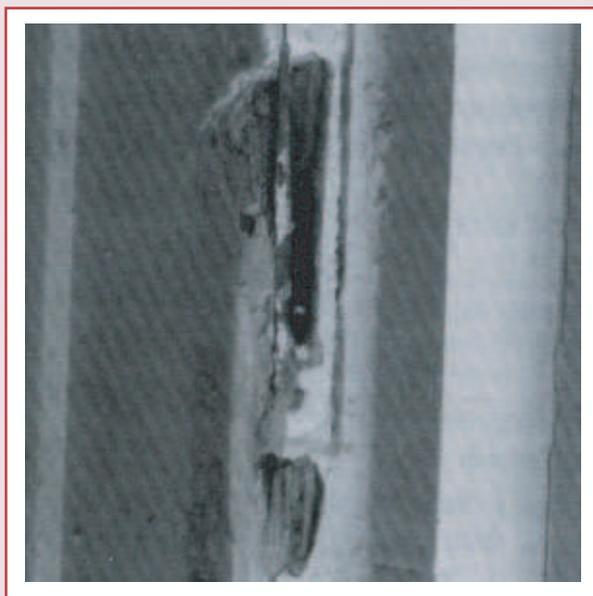


ROTTURA ACCESSORI DI MOVIMENTAZIONE E DI APERTURA PER USURA O CARICO ECCESSIVO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Le continue sollecitazioni meccaniche sui telai fissi e mobili del serramento dovute a carichi dinamici e concentrati e dovute all'uso e la manovra continui, possono portare a cedimenti dei sistemi di fissaggio [viti e rivetti] e alla successiva fuoriuscita dalla sede o allo spostamento [a seconda della tecnologia costruttiva del serramento] degli accessori di movimentazione e di manovra. Questa perdita di coesione con il supporto [telaio fisso o mobile] può determinare:

- una limitazione nella manovrabilità del serramento [soprattutto nel caso di modelli di funzionamento a apertura multipla come a esempio apertura a battente ad antaribalta];
- una deformazione irreversibile dell'accessorio;
- la rottura dell'accessorio.



Rottura degli accessori di chiusura in corrispondenza del riscontro di battuta [Fonte: Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione, Maggioli, Rimini, II ed.

A seconda dell'intensità del guasto si possono innescare ulteriori guasti del sistema serramento:

- deformazione del telaio mobile con conseguente variazione della tenuta all'acqua e all'aria del serramento;
- distacco del telaio mobile dal telaio fisso.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

Nella messa a punto del capitolato è necessario definire le condizioni al contorno e le specifiche di prestazione del serramento in relazione a queste. Nella fase di selezione del prodotto è necessario controllare che le caratteristiche del prodotto rispondano alle specifiche di prestazione definite in fase di progetto.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Uso inadeguato del serramento

Prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

- 1) Inadeguato controllo dei sistemi di fissaggio
- 2) Montaggio errato

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Fuori squadra del telaio mobile rispetto al telaio fisso;
- Presenza di macchie in corrispondenza del davanzale in caso di pioggia battente [permeabilità all'acqua del serramento];
- Difficoltà o impossibilità di apertura/chiusura del serramento;
- Deposito di polvere in corrispondenza delle zone permeabili all'aria.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-019 – Infiltrazioni

3-018 infiltrazioni tra telaio fisso e vano murario

INFILTRAZIONI DI ACQUA E PERMEABILITA' ALL'ARIA IN CORRISPONDENZA CONNESSIONE TELAIO FISSO E VANO MURARIO PER DIFETTI DI TENUTA DELLA SIGILLATURA E/O DELLE GUARNIZIONI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nei serramenti realizzati in acciaio, alluminio o PVC [si escludono i serramenti in legno] si possono riscontrare fenomeni di infiltrazione e di permeabilità all'aria in corrispondenza delle sigillature effettuate tra supporto murario e telaio fisso [o controtelaio]. Si tratta di una duplice infiltrazione: tra sigillante e/o mastice e/o guarnizione e vano murario e tra sigillante e/o mastice e/o guarnizione e telaio fisso.

La perdita di tenuta all'aria e all'acqua è determinata dalla variazione delle caratteristiche meccaniche [deformabilità] innescate da:

- GIUNTO CON GUARNIZIONE PREFORMATA IN MATERIALE ELASTICO – riduzione della pressione sulle superfici del vano e del telaio per una variazione dimensionale dello spazio per il giunto dovuto, per esempio, a deformazioni della parete perimetrale verticale per cedimenti strutturali, a cedimenti degli angoli del telaio dovuti a carichi dinamici [apertura e chiusura], a degrado della struttura muraria, a difetto di posa del controtelaio;
- GIUNTO CON GUARNIZIONE PREFORMATA IN MATERIALE ELASTICO – riduzione della pressione sulle superfici del vano e del telaio per una mancanza di livello o di piombo con angoli diversi da 90°;
- GIUNTO CON GUARNIZIONE PREFORMATA IN MATERIALE ELASTICO – riduzione della pressione sulle superfici del vano e del telaio per un difetto di posa [assenza di continuità della guarnizione];
- GIUNTO CON SIGILLANTE – perdita di adesione tra il giunto e le superfici da sigillare [muratura e telaio] determinata da un movimento di lavoro del sigillante inferiore alla variazione dello spazio per il giunto;
- GIUNTO CON SIGILLANTE – perdita di adesione tra il giunto e le superfici da sigillare [muratura e telaio] per incompatibilità con i supporti;
- GIUNTO CON SIGILLANTE – perdita di adesione tra il giunto e le superfici da sigillare [muratura e telaio] per variazione delle caratteristiche del prodotto imputabile alla perdita di oli e di solventi presenti nei sigillanti per assorbimento da parte delle superfici da sigillare [supporti porosi];
- GIUNTO CON SIGILLANTE – perdita di adesione tra il giunto e le superfici da sigillare [muratura e telaio] per raggiungimento di temperature superficiali delle parti da sigillare maggiori rispetto alle temperature di esercizio del sigillante [comportamento dipendente dalla durata della sollecitazione];
- GIUNTO CON SIGILLANTE – rottura coesiva [fessurazione giunto] determinata da un movimento di lavoro del sigillante inferiore alla variazione dello spazio per il giunto;
- GIUNTO CON SIGILLANTE – perdita di adesione tra giunto e le superfici da sigillare [muratura e telaio] per difetto di posa, ovvero in assenza di continuità della sigillatura.



Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) In caso di guarnizione assenza di una sede appositamente conformata nelle parti da sigillare.

Prevenzione in fase di gestione

1) Assenza di manutenzione preventiva [ispezioni di verifica e controllo].

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Presenza di macchie di umidità in corrispondenza del fianco del vano murario o dell'architrave;
- Deposito di polvere concentrato [termoforesi] in corrispondenza del fianco del vano murario o dell'architrave;
- Crepe visibili dall'esterno in corrispondenza della sigillatura;
- Presenza di oli sulla superficie della guarnizione;
- Gioco della sigillatura rispetto allo spazio del giunto.

3-019 infiltrazioni tra telaio fisso e mobile



INFILTRAZIONI DI ACQUA E PERMEABILITA' ALL'ARIA PER DIFETTO DI TENUTA DELLE GUARNIZIONI DI BATTUTA O DELLA GUARNIZIONE CENTRALE [GIUNTO APERTO]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nei profilati tradizionali la tenuta all'aria è affidata alla compressione che il telaio mobile riesce ad esercitare sul telaio fisso [tenuta in battuta]. Nei serramenti definiti a "giunto aperto", invece, la tenuta è affidata ad una guarnizione centrale che, sotto la pressione del vento può flettere ed appoggiarsi contro un piano, generalmente inclinato, ricavato nel profilato dell'anta mobile. L'uniformità e la regolarità della compressione è condizione necessaria per garantire la tenuta all'aria e all'acqua del serramento. La perdita di uniformità e regolarità della pressione può dipendere da:

- presenza di fessurazioni [crepe] dovute a difetti di incollaggio e/o di sigillatura in corrispondenza degli angoli;
- rottura della guarnizione per perdita di elasticità del prodotto [difetto di prodotto o scelta errata del prodotto rispetto alle temperature di esercizio];
- rottura e/o deformazione della guarnizione per cattivo funzionamento del serramento imputabile alla deformazione del telaio fisso e mobile;
- perdita di adesione delle guarnizioni per errori di posa [fissaggio a pressione, a infilare, incollaggio];
- perdita di adesione delle guarnizioni per difetti dei trattamenti superficiali [incollaggio mediante sigillante nei serramenti in legno];
- perdita di adesione delle guarnizioni per errori di taglio;
- perdita di adesione delle guarnizioni per errata sagomatura di questa rispetto al profilo [fissaggio a pressione, a infilare];
- perdita di adesione delle guarnizioni per eccessivo carico dinamico sulla superficie specchiante [carichi del vento eccessivi];
- perdita di adesione delle guarnizioni per giochi delle aste di chiusura [problemi di fissaggio];
- perdita di adesione delle guarnizioni per presenza di eccessive tolleranze nel posizionamento delle cerniere;
- perdita di adesione delle guarnizioni per variazione degli spessori.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Fessurazioni

È necessario verificare l'uniformità della guarnizione [lunghezza e larghezza] attraverso il corretto dimensionamento rispetto alle dimensioni del serramento e dei profili costituenti;

Prevenzione in fase di gestione

1) Assenza di manutenzione preventiva [ispezioni di verifica e controllo]

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

1) Stoccaggio su spazio aperto non protetto dall'irraggiamento continuo;

2) Stoccaggio su spazio aperto senza rimozione dell'imballaggio

L'accatastamento delle confezioni è da evitare per limitare le possibili deformazioni;

3) Alterazione delle caratteristiche fisiche per difetti di posa

Nel montaggio bisogna evitare la stiratura della guarnizione, ovvero è necessario evitare di trascinare forzatamente la guarnizione nella sede.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- presenza di tracce bianche sulla superficie della guarnizione [affioramento carbonato di calcio indice di cattiva qualità del prodotto];
- untuosità della guarnizione ed eventuale presenza di macchie sul serramento dovute alla migrazione di plastificante della guarnizione;
- rigidità della guarnizione [perdita di elasticità meccanica] dovute alla migrazione di plastificante;
- lacerazioni della guarnizione per eccessiva rigidità;
- presenza di gocce di acqua in corrispondenza del davanzale.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-007 – Deformabilità del telaio
- MdG 3-017 - Usura o carico eccessivo

3-020 corrosione galvanica dei profili in alluminio



CORROSIONE GALVANICA PER CONTATTO TRA ALLUMINIO E METALLO CON POTENZIALE SUPERIORE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

In generale l'alluminio è un materiale resistente alla corrosione. Esistono comunque delle condizioni che potrebbero attivare, in modo localizzato e specifico, il guasto. I telai in lega di alluminio, infatti, potrebbero essere soggetti a corrosione galvanica dovuta al contatto con metalli aventi caratteristiche diverse [accessori di movimentazione e di chiusura, sistemi di fissaggio, appoggio diretto su strutture portanti in acciaio, ecc.], ovvero metalli abbastanza lontani nella scala galvanica. Tra i due metalli si instaura una differenza di potenziale in grado di alimentare un circuito elettrico composto dai due metalli e dall'elettrolita [vapore acqueo, condensa, ecc.]. Questa circolazione di elettroni comporta la dissoluzione preferenziale dell'elemento meno nobile [potenziale più negativo]. L'attivazione di questo meccanismo di alterazione dipende dalle condizioni ambientali di riferimento.



Presenza di corrosione sulla superficie del profilo in alluminio [Fonte: fotografia dell'autore]

È opportuno evitare il contatto tra l'alluminio e i seguenti metalli caratterizzati da un potenziale superiore:

- acciaio normale [se non protetto mediante zincatura, cadmiatura o verniciatura, la ruggine può intaccare l'alluminio];
- rame;
- piombo.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Impiego di accessori di funzionamento e di chiusura in ferro

È necessario verificare la compatibilità dei materiali impiegati rispetto all'alluminio. In caso di materiali non compatibili è necessario definire il tipo di protezione [trattamento] a cui il materiale deve essere soggetto e/o controllarne i possibili punti di contatto.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Impiego di soluzioni aggressive per la manutenzione e la pulizia

I profili in alluminio devono essere puliti unicamente con acqua o, nel caso di superfici molto sporche, si deve ricorrere a paste leggermente abrasive.

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera):

- 1) Contatto con materiali incompatibili;
- 2) Appoggio diretto del serramento su una struttura in acciaio senza protezione.
Prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]
- 1) Difetto nel trattamento superficiale.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Macchie
- Corrosione localizzata

3-021 corrosione da contatto dei profili in alluminio



CORROSIONE PER CONTATTO TRA ALLUMINIO E MALTE CEMENTIZIE [SOSTANZE BASICHE] O ACIDI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nei profili di alluminio l'attivazione del fenomeno corrosivo è imputabile, oltre che al contatto con metalli, anche al contatto con ambienti aggressivi o con sostanze basiche quali polveri di calce, malte cementizie e gesso. La deposizione di queste sostanze alcaline sul profilo innesca un attacco dell'alluminio al quale segue la formazione di un film di idrato di Ca e di Al che arresta il propagarsi dell'alterazione. Il fenomeno corrosivo si esaurisce a presa avvenuta e non pregiudica il comportamento meccanico del serramento, a meno che non ci si trovi in presenza di condensa [deposizione umida].



Corrosione su un profilato a diretto contatto con l'intonaco della muratura [Fonte: 2003, Loughram P., Falling Glass. Problems and Solutions in Contemporary Architecture, Birkhauser, Basel, pp. 54]

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Errato posizionamento dello strato isolante tra serramento e vano murario
È necessario evitare ponti termici per impedire formazione di condensazione superficiale;
- 2) Contatto diretto tra serramento e vano murario.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Impiego di soluzioni aggressive per la manutenzione e la pulizia
I profili in alluminio devono essere puliti unicamente con acqua o, nel caso di superfici molto sporche, si deve ricorrere a paste leggermente abrasive.

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Stoccaggio su spazio aperto senza protezione e successivo contatto con malte cementizie
Deve essere predisposto un locale chiuso, con possibilità di ricambio d'aria, ove i serramenti verranno collocati in senso verticale, appoggiati su tavole o listelli di legno e non in contatto con le pareti o col terreno con legno o materiale plastico.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Macchie
- Corrosione localizzata.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-005 – Deposito di olii.

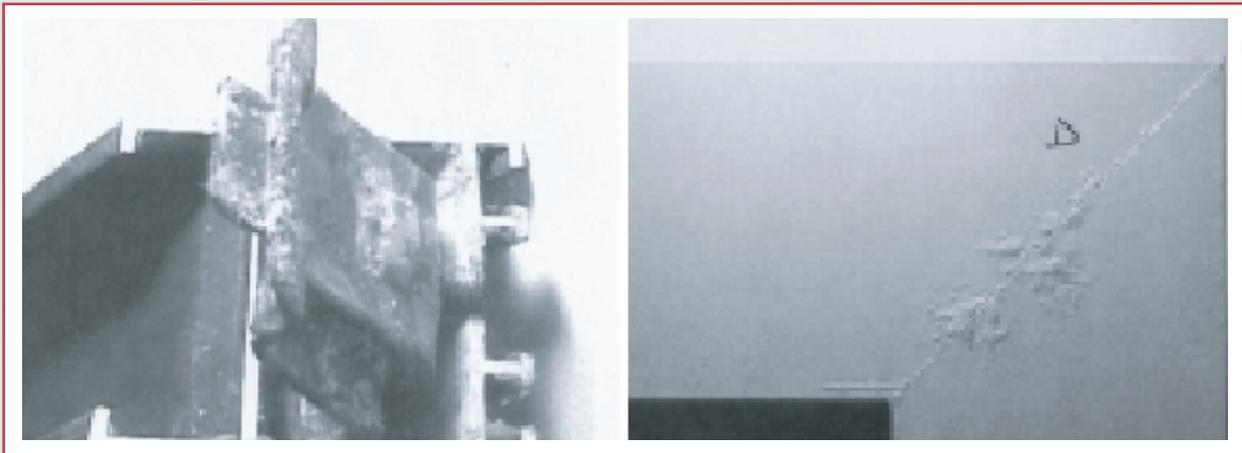
3-022 corrosione interstiziale dei profili in alluminio



CORROSIONE INTERSTIZIALE DEI PROFILI IN ALLUMINIO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La non corretta esecuzione dell'assemblaggio dei profili in alluminio per la costruzione dei telai potrebbe essere il fenomeno attivatore della corrosione. L'assemblaggio deve essere eseguito con un serraggio tale da avere una perfetta sovrapposizione tra le sezioni di taglio e una perfetta complanarità tra le superfici adiacenti. La presenza di interstizi rende deboli le zone di taglio non protette e pertanto risultano soggette a corrosione. Può avere effetti molto marcati, essendo un processo spesso autostimolante, e portare in breve tempo alla completa dissoluzione del metallo nelle zone circostanti l'interstizio. Inoltre l'accoppiamento tra l'alluminio e un altro metallo può aggravare le condizioni aggiungendo in più il fattore della corrosione galvanica. La presenza di interstizi rende deboli anche gli accessori di collegamento come le squadrette in ferro, che possono essere corrose.



Corrosione della squadretta in ferro di collegamento dei profili [a sinistra] e corrosione delle superfici di taglio non protette prima dell'assemblaggio dell'angolo [immagini tratte da: AaVv, 2001, "Serramenti di alluminio: raccomandazioni per l'ottenimento delle migliori prestazioni qualitative", UX22 n. 4, ott. 2001, UNCSAAL]

I problemi di corrosione delle squadrette e gli eventuali fenomeni di natura elettrochimica [coppia galvanica con i profilati estrusi] sono oggi facilmente evitabili grazie all'uso di speciali collanti con cui riempire le zone terminali dei profilati prima dell'inserimento delle squadrette. Questo prodotto in esercizio svolgerà la duplice funzione di adesivo e di isolamento nell'accoppiamento tra le squadrette e i profilati

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Assenza di sovrapposizione dei profili;
- 2) Assenza di incollaggio delle squadrette prima della fase di cianfrinatura.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Impiego di soluzioni aggressive per la manutenzione e la pulizia
I profili in alluminio devono essere puliti unicamente con acqua o, nel caso di superfici molto sporche, si deve ricorrere a paste leggermente abrasive.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Sbollature
- Corrosione localizzata

Modi di guasto correlati

- MdG 3-021 – Corrosione da contatto dei profili in alluminio

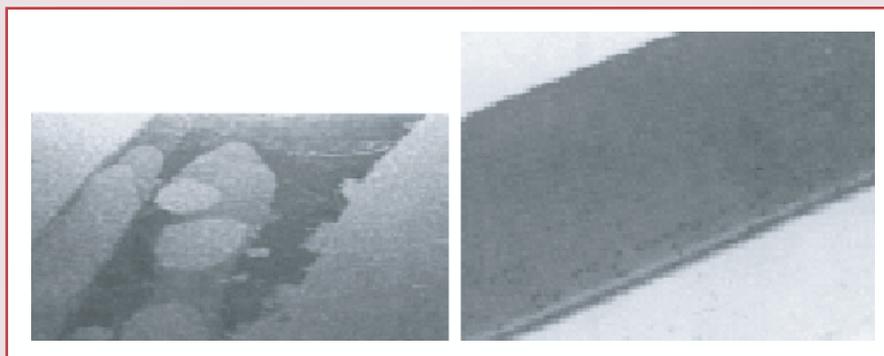
3-023 alterazione cromatica dei profili i alluminio



ALTERAZIONE CROMATICA PER DEPOSITO DI POLVERI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

L'alluminio può essere soggetto alla formazione di macchie superficiali per contatto con alcuni materiali edili. Nella posa in opera e nelle fasi di stoccaggio in cantiere è necessario evitare il contatto tra il serramento e la polvere di gesso e di cemento.



Formazione di macchie su superfici verniciate che, per la loro natura di non completa impermeabilità, potrebbero assorbire acqua di condensa intrappolata tra le superfici metalliche e il polietilene [imballaggio] [a sinistra] e camolature innescate dalla presenza di umidità [a destra] [immagine tratta da: AaVv, 2001, "Serramenti di alluminio: raccomandazioni per l'ottenimento delle migliori prestazioni qualitative", UX22 n. 4, ott. 2001, UNCSAAL]

La deposizione umida [presenza di acqua] di questi elementi può determinare la formazione di macchiature permanenti, impossibili da eliminare anche attraverso azioni di pulitura. Il deposito umido di cemento potrebbe poi innescare fenomeni corrosivi.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Inadeguato imballaggio del serramento;
- 2) Inadeguato stoccaggio dei profili e dei serramenti in cantiere.

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Assenza di pulizia;
- 2) Impiego di materiale aggressivo inadeguato per la pulizia dei profili.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Macchie superficiali
- Camolature.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-021 – Corrosione da contatto dei profili in alluminio.

3-024 distacco dello strato protettivo dell'alluminio



DISTACCO DELLO STRATO PROTETTIVO DOVUTO A DIFETTI DI PRODUZIONE O A URTO DI CORPO CONTUNDENTE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Le tipologie di apertura e chiusura del serramento incidono sul modello di funzionamento e sul controllo in fase di chiusura del posizionamento del telaio mobile. Il mancato controllo [accompagnamento] nella chiusura può generare sollecitazioni eccessive tra telaio mobile e fisso. Queste continue e intense vibrazioni, quando già esistono difetti dovuti alla scarsa aderenza della verniciatura [difetti di produzione, alterazione delle caratteristiche di aderenza per attacco da agenti aggressivi o per degrado determinato dalle sollecitazioni ambientali esterne, o per aggressione determinata dall'impiego di prodotti per la pulizia], possono innescare fenomeni di distacco dello strato protettivo.

Inoltre, la presenza di discontinuità dello strato protettivo, dovuto a corpi contundenti, provoca degli interstizi che possono portare all'attivazione dei fenomeni corrosivi.

Prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

1) Difetti nei trattamenti termici.

Prevenzione in fase di gestione

1) Atti vandalici

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- microfessure;
- corrosione localizzata.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-022 - Corrosione interstiziale dei profili in alluminio.

3-025 carie dei telai in legno



ALTERAZIONE STRUTTURA PROFILI IN LEGNO PER FORMAZIONE DI MUSCHI, FUNGHI E/O LICHENI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

I funghi dell'azzurramento e della marcescenza sono tra le principali cause di degrado dei profili in legno e dei film di verniciatura. Questi possono portare alla disorganizzazione e alla distruzione del corpo legno. Gli agenti che permettono l'attivazione del meccanismo di alterazione dei profili sono:

- Una umidità relativa elevata;
- la T_e costante [$22^{\circ}\text{C} < T < 24^{\circ}\text{C}$];
- l'assenza di ventilazione.

Esistono differenti tipologie di microorganismi: funghi da carie del legno [basidiomiceti e deuteromiceti], funghi dell'azzurramento e muffe. Questi, in funzione della fase di lavorazione, attivano differenti modi di guasto nel legno e portano ad anomalie visibili differenti [alterazione cromatica, carie bruna o distruttiva, carie bianca o carie corrosiva, carie soffice]. I profili in opera [serramenti in legno] sono prevalentemente soggetti all'attacco da parte dei "funghi da colorazione", ovvero da muffe e da funghi detti dell'azzurramento che generano una alterazione cromatica [indesiderabile o inaccettabile] e, in alcuni casi, possono provocare la degradazione dei rivestimenti decorativi.



Degrado dei profili dovuto alla presenza di muffe e funghi [Fonte: Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione, Maggioli, Rimini, II ed]

I funghi dell'azzurramento provocano una colorazione permanente da blu a nero di intensità e profondità variabile. L'attacco di questi funghi non incide sulle proprietà meccaniche del legno, ma può aumentarne il grado di permeabilità. Le muffe sono funghi che si presentano come macchie di vario colore sulla superficie del legno umido e che si possono manifestare soltanto quando l'umidità sulla superficie del legno è maggiore del 20%. Tale condizione si verifica in presenza di una elevata umidità relativa o alla condensazione del vapore acqueo.

L'intensità del meccanismo di alterazione dipende dai seguenti fattori:

- la natura e la qualità della specie legnosa;
- la conformazione geometrica delle parti costituenti il serramento [incide sul fenomeno di ristagno d'acqua];
- la tipologia di lavorazione del legno grezzo;
- il ciclo di verniciatura [sistema applicativo, spessore della vernice, distribuzione della vernice sul profilo];
- la posa in opera [posizione del serramento rispetto al muro];
- il contesto climatico sollecitante [temperatura e umidità relativa];
- l'orientamento della superficie che accoglie il serramento.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) Stoccaggio del serramento in ambiente umido

Prevenzione in fase di gestione

- 1) Assenza di manutenzione e pulizia

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Macchie;
- Distacco dello strato protettivo;
- Alterazione della colorazione permanente del profilo;
- Putrefazione concentrata [solo nella parte colpita] del profilo;
- Distruzione del profilo.

3-026 tarlatura dei telai in legno



ALTERAZIONE DELLA STRUTTURA DEI PROFILI IN LEGNO PER TARLATURA DA XILOFAGI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Gli insetti [coleotteri e termiti] possono generare delle alterazioni nella struttura del corpo legno [disorganizzazione] fino a giungere alla distruzione. L'alterazione della struttura è dovuta alla presenza di discontinuità [cave e gallerie] generate dall'insetto nella sezione del materiale in opera. Poiché non è possibile rilevare visivamente il progredire del guasto [gli insetti agiscono in porzioni protette dalla luce], quando questo si manifesta ha carattere irreversibile. La superficie esterna dei profili, infatti, non presenta alcuna anomalia visibile.

In presenza di coleotteri la massa intera del legno si trasforma in un ammasso unico di rossura compressa nella quale non è più riconoscibile la struttura dei tessuti. In presenza di termiti, invece, il profilo può perdere le sue caratteristiche di resistenza meccanica e subire delle deformazioni se non addirittura degli sfondamenti.

La collocazione geografica incide sul rischio di guasto determinato dalla presenza di insetti.



Alterazione della consistenza del profilo ligneo dovuto alla presenza di insetti. [Fonte: Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione, Maggioli, Rimini, II ed]

Difetti e prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

1) Difetti nella realizzazione dello strato protettivo

Prevenzione in fase di cantiere (controllo in corso d'opera)

1) Stoccaggio inadeguato

Prevenzione in fase di gestione

1) Assenza di manutenzione ordinaria

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Presenza di fori scavati sul profilo;
- Distacco della vernice protettiva;
- Erosione legno;
- Rottura e sfondamento.

3-027 deformazione del telaio in legno



IMBARCAMENTO LONGITUDINALE E TRASVERSALE DEI PROFILI IN LEGNO E DEFORMAZIONE DEL TELAI DOVUTI ALL'UMIDITA'

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Il legno ha una elevata capacità di assorbire e trattenere umidità. Per limitare i fenomeni di imbarcamento [rigonfiamenti], di instabilità dimensionale e rotture dovuti alla ritenzione di umidità, è necessario controllare i procedimenti di stagionatura ed essiccazione che precedono le fasi di trattamento dei profili. Questi trattamenti rivestono una particolare importanza perché incidono sull'equilibrio, in termini di umidità, del serramento posto in opera. L'alterazione del grado di umidità genera dei fenomeni dilatativi lungo l'asse tangenziale rispetto all'andamento principale delle fibre. La variazione del contenuto di umidità avviene nelle fasi di stagionatura e di essiccazione del legname. In questa fase si assiste ad una progressiva perdita del contenuto di acqua nelle pareti cellulari. Tale perdita provoca ritiri differenziati con conseguente deformazione [imbarcamento]. Una volta stabilizzato [il legno raggiunge una buona stabilità intorno al 12-13% di umidità relativa] questo materiale reagisce lentamente alle variazioni igrotermiche ed è soggetto unicamente a variazioni stagionali.



Deformazione del profilo ligneo e alterazione della consistenza dovuti alla presenza di umidità. [Fonte: Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione, Maggioli, Rimini, II ed]

Le alterazioni geometriche e le deformazioni del serramento posto in opera sono legate alla presenza di acqua nelle seguenti forme:

- infiltrazioni nei giunti dell'infisso dovute a pioggia battente [o di rimbalzo];
- condensazione interstiziale determinata dal flusso di vapore acqueo tra interno ed esterno;
- condensa superficiale.

L'intensità del meccanismo di alterazione dipende dai seguenti fattori:

- la natura e la qualità della specie legnosa;
- la conformazione geometrica delle parti costituenti il serramento [incide sul fenomeno di ristagno d'acqua];
- conformazione geometrica dei giunti dei profili;
- il contesto climatico sollecitante [temperatura e umidità relativa];
- l'orientamento della superficie che accoglie il serramento.

Una non adeguata protezione [trattamento di preservazione e trattamento di verniciatura], o il decadimento prestazionale di questa protezioni dovuta all'irraggiamento, possono incrinare l'equilibrio del profilo [variazione contenuto di umidità].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata dell'essenza rispetto alle sollecitazioni ambientali
Prevenzione in fase di gestione
- 1) Assenza di controllo e manutenzione
È necessario eliminare l'umidità dalla superficie lignea.

Prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

- 1) Difetti nella realizzazione dello strato protettivo.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

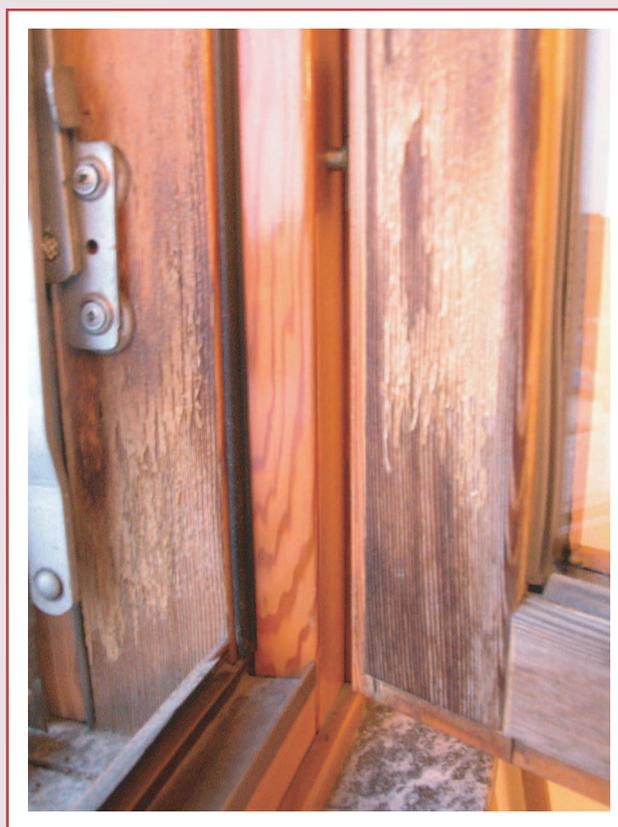
- Rigonfiamenti;
- Rotture e fessure parallele alle fibre;
- Allungamento differenziale e svergolamento dei profili.

3-028 alterazione cromatica ed esfoliazione telaio legno

ALTERAZIONE CROMATICA ED ESFOLIAZIONE DEI PROFILI IN LEGNO [Distacco della pellicola di protezione]

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nei serramenti in legno il trattamento di protezione e di verniciatura determinano il tempo medio di buona durata del serramento. L'alterazione della pellicola di protezione [micro-fessure] è legata alle variazioni di temperatura e all'irraggiamento. Tale alterazione può modificare le prestazioni del serramento in termini di tenuta all'acqua e all'aria. Un difetto della pellicola può, infatti, determinare problemi di adesione del silicone, impiegato per incollare le guarnizioni di tenuta e battuta, alla superficie verniciata.



Alterazione cromatica del profilo ligneo. [Fonte: Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione, Maggioli, Rimini, Il ed]

Difetti e prevenzione in fase di produzione [e progetto del prodotto]

1) Difetti nella realizzazione dello strato protettivo

È necessario verificare che durante il trattamento non si siano formate microfessure nel film di vernice o macchie.

Prevenzione in fase di cantiere (controllo in corso d'opera)

1) Il prodotto viene stoccato in assenza di adeguata protezione dal sole o dalla bagnatura

Prevenzione in fase di gestione

1) inadeguata manutenzione

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Esfoliazione;
- Variazione del colore [perdita brillantezza e schiarimento colore];
- Rammollimento e ritiro dello strato superficiale.

3-029 imbozzamento dei profili in PVC

IMBOZZAMENTO DEI PROFILI IN PVC DOVUTO A DILATAZIONI TERMICHE

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

I serramenti in PVC sono soggetti a deformazioni per variazioni di temperatura. Le dilatazioni termiche sono trascurabili ad eccezione di quella parallela alla dimensione preponderante. Il PVC è il materiale per la costruzione dei serramenti con il maggiore coefficiente di dilatazione lineare ed è soggetto a fenomeni di rammollimento a temperature relativamente basse [80°C]. La dimensione dei profili deve essere definita in funzione del salto termico ammissibile, ovvero del salto termico proprio del luogo di riferimento.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Scelta inadeguata del colore [scuro]

Si manifesta un aumento della temperatura superficiale.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Deformazioni del telaio;
- Macchie in corrispondenza del davanzale per scarsa tenuta all'aria e all'acqua;
- Deformazioni delle guarnizioni.



3-030 alterazioni cromatiche profili PVC

ALTERAZIONE CROMATICA E SFARINAMENTO DOVUTA AI RAGGI ULTRAVIOLETTI

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

La parte di radiazione solare con lunghezza d'onda compresa tra i 290 e i 400 nm corrisponde al campo degli ultravioletti che attiva il fenomeno dell'alterazione cromatica. Le alterazioni attivano la deidroclorurazione, ovvero la perdita parziale di acido cloridrico. Ciò avviene perché si formano tra gli atomi di carbonio dei legami che, in particolari condizioni sollecitanti, assorbono radiazioni che fanno parte dello spettro visibile. Si creano così doppi legami tra carbonio o tra carbonio e ossigeno.

L'effetto di questo fenomeno è l'ingiallimento e/o l'imbrunimento superficiale.

A questo segue il fenomeno di ossidazione dei doppi legami che porta ad una regressione dell'ingiallimento.

Se il fenomeno di deidroclorurazione e di ossidazione avvengono contemporaneamente, non si assiste ad alcuna alterazione visiva. A questo punto si può innescare il fenomeno della microfessurazione che può portare ad avere uno sfarinamento superficiale.

Difetti e prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

1) Stoccaggio inadeguato rispetto alle sollecitazioni ambientali.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Ingiallimento;
- Microfessurazioni;
- Sfarinamento.



3-031 alterazioni cromatica e chimica profili acciaio



ALTERAZIONE CROMATICA E DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE PER FENOMENI DI CORROSIONE NEI SERRAMENTI IN ACCIAIO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

I serramenti in acciaio sono soggetti a fenomeni corrosivi quando:

- si verificano contatti con soluzioni acide;
- si verificano contatti con atmosfere acide;
- si è in presenza di ambienti particolarmente umidi;
- vi sono dispersioni di corrente [inadeguata messa a terra del serramento].

Negli ambienti umidi la presenza di ossigeno e acqua innesca una reazione che richiama elettroni, e si ha ossidazione corrosiva del metallo. Questo meccanismo di alterazione si presenta ancora più aggressivo quando si è in presenza di atmosfera aggressiva, dovuta a precipitazioni acide [piogge acide].

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Scelta inadeguata del serramento rispetto alle condizioni esterne [atmosfere aggressive].

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

- 1) scelta inadeguata dell'area di cantiere;
- 2) modalità di stoccaggio inadeguate.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Ruggine e corrosione;
- Alterazione cromatica

3-032 condensazione superficiale nei profili in acciaio



FORMAZIONE DI CONDENSAZIONE SUPERFICIALE PER INADEGUATO ISOLAMENTO DEL TELAIO IN ACCIAIO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

I serramenti in acciaio, se non opportunamente isolati, sono soggetti alla condensazione superficiale sia sulla superficie interna [a contatto con l'ambiente] sia sulla superficie esterna.

Si ha condensazione superficiale quando la temperatura superficiale del profilo è inferiore alla temperatura di saturazione della miscela di aria/vapore che la lambisce. L'effetto, visibile, è il deposito dell'umidità in eccesso sulla superficie del profilo che si affaccia sullo spazio confinato.

Difetti e suggerimenti di prevenzione

Difetti e prevenzione in fase di progetto

- 1) Mancanza dello strato isolante in corrispondenza del profilo [cappotto];
- 2) Assenza di taglio termico.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Condensazione superficiale.

3-033 alterazione cromatica per polveri profili acciaio



ALTERAZIONE CROMATICA PER DEPOSITO DI POLVERI NEI PROFILI IN ACCIAIO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

I serramenti in acciaio se non opportunamente mantenuti sono soggetti a depositi di polvere. La deposizione umida può provocare macchie irreversibili e l'attivazione di fenomeni corrosivi.

Difetti prevenzione in fase di gestione

1) Assenza di manutenzione

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Macchie;
- croste.

Modi di guasto correlati

- MdG 3-031 - Alterazione cromatica e chimica dei profili in acciaio

3-034 condensazione nei profili alluminio-legno

FORMAZIONE DI CONDENSAZIONE SULLE SUPERFICI DI CONTATTO NEI SERRAMENTI MISTI ALLUMINIO-LEGNO

Descrizione delle modalità di attivazione del Modo di Guasto

Nei serramenti misti alluminio-legno, nel caso in cui i telai in alluminio rappresentano la parte portante e il legno funge da rivestimento interno è opportuno verificare le temperature superficiali delle superfici di contatto per limitare la formazione di condensazione. L'alluminio, infatti, è caratterizzato da una scarsa resistenza termica [elevata conduttività termica]. E' pertanto necessario adottare una soluzione di profilo a taglio termico per rendere compatibili i sistemi.

Difetti e prevenzione in fase di progetto

1) Adozione di profilo senza taglio termico.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Nessuna anomalia visibile.



Prevenzione nelle fasi di lavorazioni in officina e trasporto

1) Errato montaggio della vetratura.

È necessario verificare, durante il montaggio della vetratura unita al perimetro, il posizionamento della lastra dotata di rivestimento magnetronico.

Prevenzione in fase di cantiere (controlli in corso d'opera)

1) Lisciviazione determinata da modalità di stoccaggio inadeguate.

Durante questa fase le lastre devono essere protette dal deposito di polveri [derivanti soprattutto dalla produzione di cls]. Nel caso di impilaggio di lastre senza ricambi di aria si possono verificare fenomeni di condensazione. L'umidità penetra capillarmente tra le lastre e reagisce con il vetro. I prodotti della reazione non vengono eliminati e la successiva umidità incrementerà il guasto.

2) Lisciviazione determinata da inadeguate protezioni durante la posa

Le lastre di vetro devono essere protette dall'umidità proveniente dal calcestruzzo fresco e dall'intonaco [attacco da soluzioni basiche].

Prevenzione in fase di gestione

1) Formazione di "croste" per inadeguata [assente] manutenzione ordinaria [pulizia].

È necessario garantire una pulizia costante delle superfici trasparenti. Inoltre, è opportuno accertarsi che i prodotti impiegati per la pulizia consentano la rimozione delle polveri senza alterare le caratteristiche ottiche della vetratura e senza provocare rigature.

Anomalie, caratteristiche e riconoscibilità

- Appannamento diffuso;

- Variazione della colorazione e del coefficiente di riflessione delle superfici trasparenti. La vetratura presenta porzioni di superficie cangianti caratterizzate da una tipica colorazione "azzurrina".

Modi di guasto correlati

- MdG 3-001 – Appannamento e corrosione

- MdG 3-002 – Condensa interna alla vetratura

- MdG 3-015 - MANutenzione scorretta



ci edizioni imparare dagli errori un archivio aperto di casi di guasto a supporto di progetto e gestione di sistemi



Regione Lombardia



DD_0064435087
S_00001587
ABBINAMENTO
EDITORIALE
CD-ROM
IMPARARE
DAGLI ERRORI
LA TIPOGRAFICA

... gli edifici ci parlano; attraverso il manifestarsi delle patologie che nel corso dell'uso che degli stessi si fa, essi ci rivelano l'eventuale necessità, a futura memoria, di rivedere le stesse scelte progettuali operate, anche in relazione ai contesti ambientali e climatici, e l'altrettanto importante necessità di assicurare una cura manutentiva che è fatta di scadenze diverse in ragione delle diverse prestazioni delle componenti edilizie.

dalla presentazione di Giampietro Borghini ed Ettore Bonalberti, Opere Pubbliche, Politiche per la Casa ed Edilizia Residenziale Pubblica, Regione Lombardia

ISBN: 88-901680-0-5



9 788890 168000