

## **RELAZIONE TECNICA PREVENTIVA**

**Accertamento delle cause che hanno determinato la rottura del cristallo temperato stratificato posto in opera presso il Palazzo MERCEDE in Roma**

Il sottoscritto Cerminara Salvatore iscritto al ruolo numero 1560 dei periti e degli esperti della Camera di Commercio di Roma alle categorie 19 Vetro e 16 Infissi ed inoltre iscritto all'albo dei CTU del Tribunale di Roma per la merceologia 19 Vetri , incaricato dal dott. Eugenio Simoni della Gestinone Immobili spa redige la presente relazione tecnica, sulle questioni postegli per la rottura dell'anta in cristallo temperato/stratificato installato mediante supporti metallici.

La vetrata osservata è composta da 2 lastre di 10 mm extrachiaro temperato e poi stratificato con il dovuto plastico polivinilbutirrale da 1,52 mm.

All'osservazione il vetro non presenta sul bordo tracce di colpi o pressioni e dall'attenta analisi della rottura si evince che l'innesco della frammentazione è avvenuto in un punto semicentrale con rottura iniziale a forma di "farfalla".(VEDI FOTO)



Questo tipico aspetto indirizza le possibilità di rotture su la presenza all'interno della pasta vetrosa di una inclusione da solfuro di nickel. Durante la fabbricazione del vetro alcune parti di nickel e zolfo si sono fuse nella pasta del vetro non miscelate (come l'olio con l'acqua). Riscaldando il vetro nel processo di tempra (oltre i 600°) il solfuro di nickel passa dal sistema a cristallizzazione trigonale di volume maggiore a sistema esagonale a volume minore.

Questo processo è sufficientemente lento e consente al vetro, per le temperature in gioco, di adattarsi alle variazioni volumetriche della inclusione cristallina.

Durante il raffreddamento rapido, che caratterizza il processo di tempra, la relativa variazione volumetrica del cristallo da volume piccolo a grande non ha il tempo di prodursi e l'inclusione cristallina si trova così a temperatura ambiente in una configurazione volumetrica non corrispondente alla sua temperatura.

Il cristallo di solfuro di nickel tenderà a riportarsi alla configurazione volumetrica corrispondente alla sua temperatura (volume maggiore), la crescita volumetrica dell'inclusione produrrà una pressione crescente nel punto dove è situata fino a provocare la rottura del vetro.

La risposta alla domanda perché si è rotto il vetro temperato è perché all'interno della pasta del vetro era presente un'inclusione di solfuro di nickel.

Queste presenze, rappresentano la "spada di Damocle" sulla vita del vetro temperato.

La possibilità di rotture delle lastre temperate da inclusione di solfuro di nickel sono state calcolate in base a studi precisi in una notevole percentuale di rischio. (Vedi estratto dello studio allegato)

### 3.2 Rischi di rottura dei vetri temperati

Nell'ultimo anno su un volume complessivo di oltre 14 000 t di vetro testato, abbiamo riscontrato una media di una rottura ogni 6,9t compreso un 5+15% dovuto a cause non attribuibili alla presenza di NiS. Tali supposizioni derivano dal fatto che in un caso esplicito abbiamo trovato un 5,4% di rotture non dovuto alla presenza di NiS (see section 1) ed assumiamo che nel nostro forno non avvengano rotture termomeccaniche. D'altro canto, prima dell'ottimizzazione del forno abbiamo riscontrato un massimo del 15% di rotture termomeccaniche. Considerando queste rotture come riserva e prendendo 0,9t, dalle 6,9t come un'ulteriore riserva (13%), stimiamo che mediamente per vetri non testati il rischio di rottura dovrebbe essere di un vetro su 6t.

Lo standard tedesco DIN 18516 è basato su un margine di sicurezza di una rottura su 400t (nel caso di 8mm una rottura su 20 000m<sup>2</sup>). Di conseguenza per soddisfare tale standard il rischio di rottura del HST deve essere ridotto di un  $[1-(6/400)]=98,5\%$ , che sarà considerato come sufficiente per garantire l'adeguatezza del HST. Utilizzeremo inoltre tale numero nei calcoli ulteriori.

Tabella 2. Frequenza di rottura in HST. La media totale è una rottura ogni 6,9t.

sample	tested glass in t	number of breaks	t glass per break
A	2987	292	10.2
B93	1725	372	4.6
B95	2043	300	6.8
B96	2080	275	7.6
B97	2419	383	6.3
B98	2484	344	7.2
C	688	108	6.4
total	14426	2074	6.9

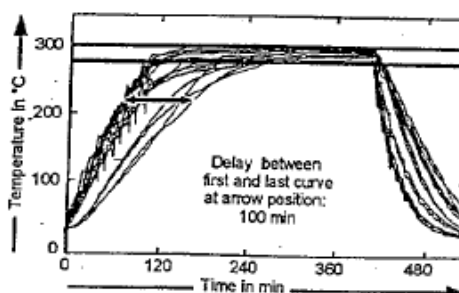


Fig. 11. Rilevazione delle curve di riscaldamento nei punti del vetro. La differenza temporale tra il punto più caldo e quello più freddo per raggiungere 230°C è di circa 100min.

Tale inconveniente può essere ulteriormente ridotto sottoponendo le lastre temperate al processo di stabilizzazione termica detto H.S.T. (heat soak test).

Questa applicazione espone il vetro temperato a "sollecitazioni" che ne portano alla rottura in stabilimento, se sono presenti all'interno della pasta di vetro i solfuri di nickel.

Dopo tale test comunque non si ha la totale sicurezza, ma il rischio viene ridotto al di sotto del 1,5%. (Vedi le conclusioni dello studio sopraindicato e di seguito allegato).

#### 4. Conclusioni

- a) Abbiamo studiato la cinetica della trasformazione allotropica da  $\alpha$  a  $\beta$  dei solfuri di nichel con due metodi differenti. I risultati mostrano chiaramente che la velocità di trasformazione è tale da esaurire la trasformazione durante la fase di riscaldamento del HST.
- b) La quota di rottura dei vetri è solitamente pari ad un vetro ogni 67t. In accordo con gli standard tedeschi DIN 18516 l'affidabilità sufficiente del test deve essere del 98,5%.
- c) I forni per HST nella realtà non riscaldano il vetro in maniera omogenea, per i punti più freddi dei vetri abbiamo constatato anche 2 ore di ritardo "termico" rispetto alla temperatura dell'aria. Pensiamo che il riscaldamento del vetro sia il processo più lento durante il HST ed ha quindi un'influenza ingannevole sulla cinetica totale del test. I ritardi possono essere descritti con la distribuzione di Weibull funzione che si adatta alla descrizione anche allo stress tensionale del vetro.
- d) La valutazione delle statistiche di rottura per gli HST reali mostrano che in un forno ben controllato un periodo di 2 o 3 ore a temperatura costante è sufficiente a garantire l'attendibilità del test. La differenza tra i coefficienti di dilatazione termica tra vetro e NiS fornisce un'ulteriore garanzia. E' comunque importante provare la qualità del forno adottando misure per il controllo della qualità. In un forno mal controllato la trasformazione del NiS può non essere completa.
- e) I dati disponibili in letteratura dimostrano che il tempo per il HST può essere ridotto in condizioni ideali, ci sentiamo di affermarlo sulla base dei nostri calcoli teorici, e possiamo sperare di ridurre il tempo di permanenza alla massima temperatura controllando maggiormente il processo in futuro.

#### Cosiderazioni finali

Le responsabilità della rottura non sono imputabili a negligenze produttive o di installazione bensì alla condizione di stato del vetro tanto che le inclusioni da solfuro di nichel sono possibili nella pasta vetrosa e la valutazione di rischio di rotture deve essere fatta in progettazione, verificando l'opportunità o meno di prevedere nella lavorazione di tempra del vetro anche la stabilizzazione termica o H.S.T che ovviamente ha un costo maggiore nell'esecuzione del lavoro.

Attenersi a ciò che previsto nel progetto se comunque non contraddice le norme o leggi cogenti o inderogabili (esempio sulla sicurezza) non può essere considerata negligenza da parte dell'esecutore dell'opera.

E' indubbiamente compito della progettazione, così come previsto dalla norma UNI 6534 Vetrazioni in opere edilizie-Progettazioni-Materiali-Posa in opera, identificare le più opportune applicazioni per la migliore riuscita dell'opera prevedendo tutto ciò che è confacente sia per il rispetto della sicurezza, della termica e dell'acustica ma anche per le giuste soluzioni nello spessore e nella tipologia di lavorazione delle lastre di vetro impiegate nella realizzazione

Con ciò si ritiene di aver assolto all'incarico ricevuto rimanendo a disposizione per qualsiasi ulteriore chiarimento.

Roma li 12 Ottobre 2010

*Geom. Salvatore Cerminara*

