

INDAGINE TEORICO – SPERIMENTALE (IIª PARTE)

Il vetro ingegnerizzato

In questa seconda parte (vedi rivista del vetro 7/2009) della ricerca effettuata dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa – Sezione Strutture, viene presentata l'indagine teorico – sperimentale sul comportamento meccanico di una giunzione per incollaggio tra profili in acciaio inox e vetro stratificato

Maurizio Froli, Gerardo Masiello, Alessio Vezzosi, Tommaso Conti – Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa – Sezione Strutture

Prova di trazione su incollaggio
mediante interlayer acrilico:
descrizione della prova

Il campione è stato ottenuto incollando, mediante interlayer acrilico, due nastri di acciaio inox di sezione rettangolare di dimensioni 20x1 mm alle estremità di una lastra di vetro float con sezione di 65x10 mm. Il materiale d'incollaggio ha uno spessore medio di 0,1 mm ricavato come media di una serie di misurazioni della differenza fra lo spessore totale del pacchetto incollato e la somma degli spessori dei singoli componenti (vetro e acciaio) costituenti il campione. La prova di carico è stata effettuata con le stesse modalità della precedente mante-

nendo costante la velocità di deformazione durante i cicli di carico e applicando lo sforzo di trazione direttamente alle estremità dei profili inox il quale, attraverso le tensioni tangenziali d'aderenza sviluppate nell'incollaggio, viene trasferito alle lastre in vetro.

Il carico di prova è stato misurato dal sistema di controllo della macchina e mediante cella di carico. L'andamento delle deformazioni specifiche nei profili metallici al variare del carico è stato misurato da 6 estensimetri elettrici lineari a variazione di resistenza (strain gauges) disposti lungo i tratti incollati, mentre 2 trasduttori induttivi di spostamento, posti rispettivamente sui profili metallici in corrispondenza delle estremità dei tratti incollati e ai bordi della lastra vitrea, hanno consentito di misurare lo scorrimento relativo fra i profili in acciaio e lastra vitrea (vedi Fig 3). In tutto sono stati eseguiti 9 ci-

cli di carico-scarico incrementando ad ogni ciclo il valore del carico massimo raggiunto e variando da ciclo a ciclo la velocità di deformazione.

Risultati della prova di carico

Prima di giungere a completa rottura, si sono manifestati degli scorrimenti rigidi nell'incollaggio dell'ordine di 0,1 mm nell'intorno dell'estensimetro n°4 in prossimità di un carico di circa 500 daN. In prossimità del carico di rottura nel vetro si sono formate delle fratture inclinate a 45° dovute dalle eccessive tensioni tangenziali d'aderenza sviluppate all'interfaccia fra incollaggio e vetro. La rottura completa del campione è avvenuta tuttavia nella lastra di vetro al raggiungimento del carico ultimo pari a 777 daN a causa della formazione di fratture pressoché ortogonali alla direzione del carico.

Elaborazione dei dati sperimentali

Per determinare lo scorrimento effettivo dell'incollaggio, è stato necessario depurare i dati sperimentali dagli effetti flessionali causati dall'eccentricità della retta d'azione del carico rispetto al baricentro della sezione composta. La strumentazione applicata al campione permette di calcolare la somma degli scorrimenti effettivi di ciascun tratto incollato come differenza dei dati misurati direttamente dai due induttivi dopo aver depurato i dati sperimentali dagli allungamenti elastici del vetro e dell'acciaio e dagli effetti flessionali. I vari contributi rilevati dall'ind. 1 applicato sui profili d'acciaio sono:

$i_A = \Delta N_{Ainc.} + \Delta N_{Vinc.} + \Delta N_V + \Delta M_{Ainc.} + \Delta M_V + \Delta W$
mentre quelli rilevati dall'ind. 2 applicato sul vetro sono:

$i_V = \Delta N_{Vinc.} + \Delta N_V + \Delta M_{Vinc.} + \Delta M_V$

dove:

$\Delta N_{Ainc.}$ = somma degli allungamenti elastici dei profili d'acciaio lungo i tratti incollati;

$\Delta N_{Vinc.}$ = somma degli allungamenti elastici del vetro lungo i tratti incollati;

ΔN_V = allungamento elastico del vetro al di fuori dei tratti incollati;

$\Delta M_{Ainc.}$ = somma degli spostamenti dei profili d'acciaio lungo i tratti incollati dovuti alla rotazione della sezione prodotta dal momento flettente;

$\Delta M_{Vinc.}$ = somma degli spostamenti del vetro al di fuori dei tratti incollati dovuti alla rotazione della sezione prodotta dal momento flettente;

ΔM_V = somma degli spostamenti del vetro lungo i tratti incollati dovuti alla rotazione della sezione prodotta dal momento flettente;

ΔW = somma degli scorrimenti effettivi nel materiale d'incollaggio.

Il valore complessivo degli scorrimenti dell'incollaggio risulta dunque:



Fig. 1 - Campione

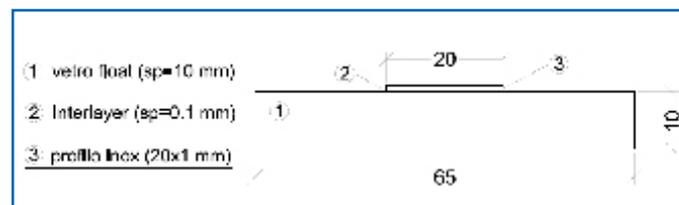


Fig. 2 - Sezione del campione

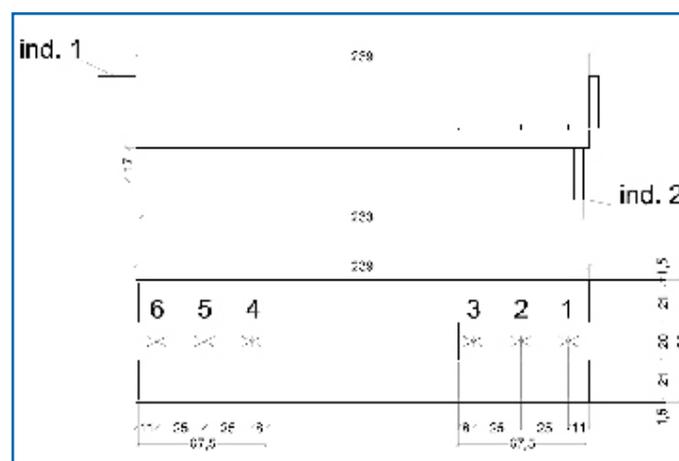


Fig. 3 - Strumentazione



Fig. 4 - Rottura del campione

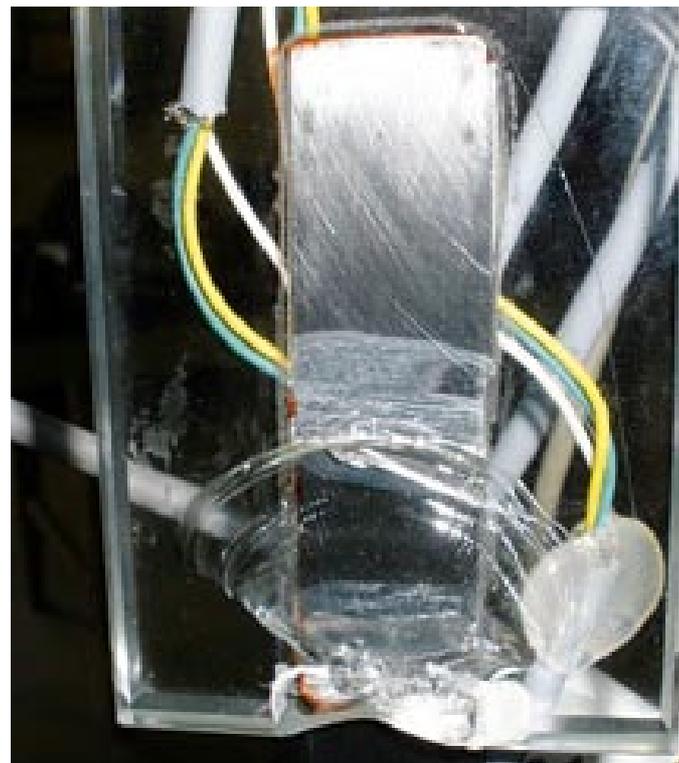


Fig. 5 - Rottura per aderenza

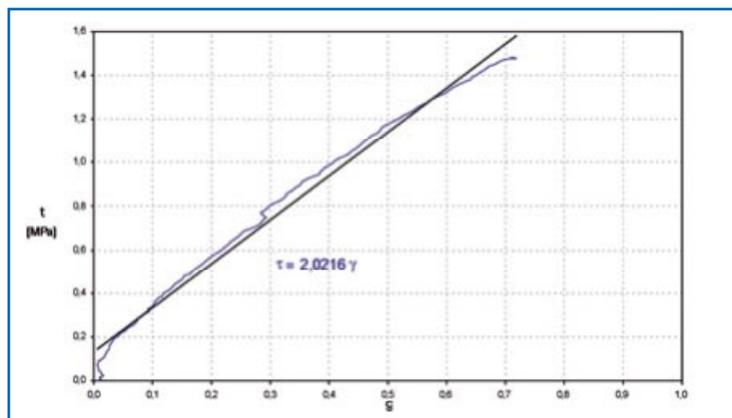


Fig. 6 - Interpolazione lineare della curva τ-γ relativa alla fase elastica del materiale di interposizione

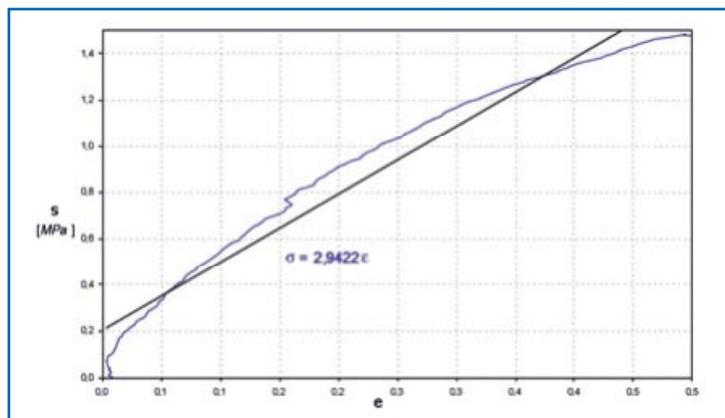


Fig. 7 - Interpolazione lineare della curva σ-ε relativa alla fase elastica del materiale di interposizione

$$\Delta W = i_A - i_V - \Delta N_{Ainc} - 2 \cdot \Delta M_{Ainc}$$

dove l'allungamento elastico dell'acciaio lungo i tratti incollati è stato stimato direttamente dalle misure estensimetriche di deformazione specifica assumendo costante l'andamento delle ε all'interno della zona di misura di ciascun estensimetro:

$$\Delta N_{Ainc} = \sum_{i=1}^k E_i \cdot l_i$$

Gli spostamenti dovuti agli effetti flessionali sono stati stimati come:

$$\Delta M_{Ainc} = \frac{M_{inc} \cdot L_{inc} \cdot h_i}{2 \cdot E_V \cdot J_{inc}}$$

dove:

M_{inc} = N · ei: momento flettente agente nella sezione incollata provocato dall'eccentricità ei della retta d'azione del carico applicato rispetto al baricentro della sezione composta;

L_{inc} : lunghezza di ciascun tratto incollato;

E_V : modulo di elasticità del vetro assunto pari a 70000 MPa;

J_{inc} : momento d'inerzia della sezione incollata ideale avendo considerato un'area equivalente di acciaio attraverso un coefficiente di omogeneizzazione del modulo di elasticità dell'acciaio a quello del vetro pari a 3;

h_i : distanza dell'asse dell'induttivo applicato sui profili d'acciaio rispetto al baricentro della sezione incollata.

In tal modo, assumendo uniforme lo scorrimento lungo tutto lo sviluppo dei due strati di colla, è stato calcolato lo scorrimento angolare medio:

$$\bar{\gamma} = \frac{\Delta W}{s}$$

dove s è lo spessore medio dello strato dell'incollaggio assunto pari a 0,095 mm.

Con le stesse ipotesi, le tensioni tangenziali medie divengono:

$$\bar{\tau} = \frac{P}{S}$$

dove S è la superficie incollata di ciascun tratto. Interpolando linearmente il tratto della curva τ-γ relativo alle corrispondenti fasi elastiche del materiale d'incollaggio, è stato ricavato un valore del modulo di G del materiale d'incollaggio pari a 2.0216 MPa.

Attraverso questi risultati sperimentali si è cercato anche di dedurre un valor medio del modulo di Young del materiale di incollaggio, seguendo lo stesso procedimento adottato nella prova precedente. Interpolando linearmente il tratto della curva σ-ε corrispondente alla fase elastica del materiale è possibile ricavare il modulo di elasticità longitudinale E dell'incollaggio che risulta essere pari a 2.9422 MPa.

Conclusioni

Nella tabella di Fig. 8 sono raccolti i valori delle caratteristiche elastiche dei due tipi di

	VALORI SPERIMENTALI ionoplastico	acrilico
E (MPa)	66 ÷ 87	~ 3
G (MPa)	34 ÷ 44	~ 2
n	-0,013 ÷ -0,018	~ -0,3

Fig. 8 - Valori sperimentali delle caratteristiche meccaniche dell'incollaggio ionoplastico ed acrilico

materiale collante dedotti direttamente dalla sperimentazione. Entrambe le tecniche di imballaggio hanno fornito prestazioni meccaniche soddisfacenti poiché in nessun caso si è avuto collasso per determinazione.

Tuttavia la rigidità dell'interlayer ionoplastico si è rivelata, a temperatura ambiente, molto superiore di quella esibita dal collante acrilico.

Bibliografia

- AA.VV.: "Structural use of glass in buildings"; The Institution of Structural Engineers; 1999.
- F.A. Veer et al.: "The possibilities of glass bond adhesives"; Proceedings of Glass Processing Days 2005; Tampere; 2005.
- F.A. Veer: "10 years of ZAPPI research", Proceedings of Glass Processing Days 2005; Tampere; 2005.
- L. Blandini: "Structural use of adhesive in glass shells"; Proceedings of Glass Processing Days 2003; Tampere; 2003.
- L. Blandini: "The glass dome"; Proceedings of Glass Processing Days 2005; Tampere; 2005.