

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Relazione per la prova finale
***«Qualificazione di materiali alternativi per
la realizzazione di componenti in vetro e
policarbonato»***

Tutor universitario: Prof. Paolo Colombo

Padova, 15/11/2022

Laureanda: *Bernardinello Giulia*

Le attività di tirocinio sono state svolte presso il laboratorio di ricerca e sviluppo di Isoclima Group, leader mondiale nel panorama delle soluzioni trasparenti ad alte prestazioni.

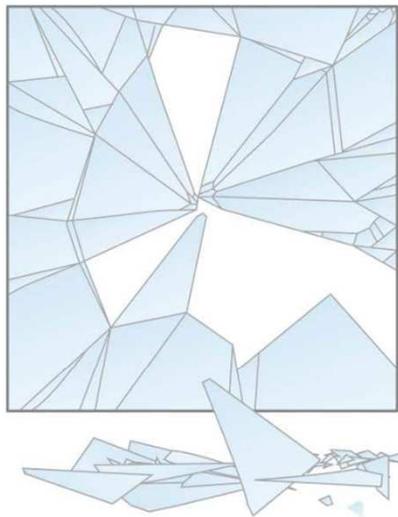
L'attività di R&D si fonda sullo sviluppo di soluzioni innovative, testando e sviluppando nuovi prodotti per la sicurezza in terra, aria e mare.



- Condurre prove di deformazione residua, di adesione e di bollitura su vetri laminati a base di poliuretano termoplastico PF 8000 per valutarne le proprietà meccaniche e ottiche.
- Confrontare le proprietà del PF 8000 con quelle di altri poliuretani termoplastici e valutare quale soluzione sia più valida per l'inserimento nel ciclo produttivo.



Il vetro stratificato è un'unità composta da almeno due pannelli di vetro e uno strato polimerico intermedio (interlayer). Le lastre vetrose vengono legate all'interstrato durante il processo di fabbricazione, con notevole miglioria delle proprietà meccaniche pre e post rottura.



Tipo di rottura A:

Tipica del vetro float. La frammentazione non è di sicurezza in quanto presenta crepe con frammenti separati



Tipo di rottura B:

Tipica del vetro stratificato. La frammentazione è integra, i frammenti rimangono uniti e non si separano



Tipo di rottura C:

Tipica del vetro temprato termicamente. Disintegrazione totale in piccole particelle innocue.

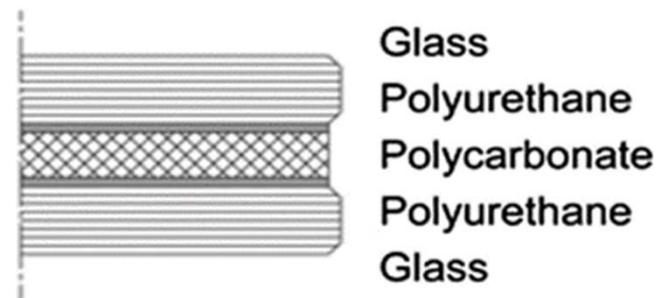
Il comportamento dell'interstrato ha una grande influenza sulle prestazioni e sulle proprietà meccaniche del vetro stratificato. Solitamente un buon interlayer deve avere elevate capacità di adesione e di trasparenza. I polimeri amorfi ed a bassa reticolazione rappresentano il materiale più adatto a tal fine.

Tra i materiali più utilizzati sicuramente si riconoscono i polimeri “a foglio” legati tramite processo di laminazione. Tra questi, identifichiamo:

- Polivinilbutirrale (PVB);
- Etilene vinil-acetato (EVA);
- Policarbonato (PC);
- Poliuretani termoplastici (TPU).

Come intralayers i poliuretani termoplastici offrono una combinazione di proprietà eccezionali: elevata tenacità, buona resistenza a trazione, ad abrasione e degradazione chimica, nonché ai raggi UV.

Nel 2009 Weller combina per la prima volta vetro, policarbonato e TPU, creando un componente ibrido innovativo. Rispetto alle travi in vetro stratificato senza PC, questa nuova struttura presentava una migliore performance post rottura ed elevata leggerezza dovuti alla buona duttilità e alla bassa densità del policarbonato.



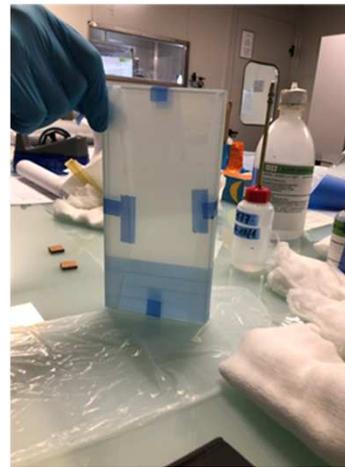
Trave ibrida sviluppata da Weller

La fase di realizzazione dei campioni vede la produzione di vetri stratificati che si distinguono sia per dimensioni che per finalità di utilizzo. Alcuni pannelli vengono realizzati con lastre di policarbonato, altri con vetro ricotto non temprato. Si producono:

- Campioni per prova di deformazione residua (*a*);
- Campioni per prova di adesione (*b*);
- Campioni per prova di bollitura (*c*).



a



b



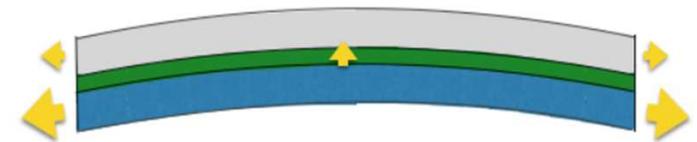
c

Numerosi fattori contribuiscono alla flessione del laminato, in primo luogo la struttura e i materiali utilizzati. Vanno considerati il numero di strati e il loro spessore, il modo e l'ordine in cui essi sono disposti oltre che le tipologie di materiali presenti.

- Se non c'è adesione tra i diversi strati, quando questi vengono sottoposti a temperatura, ciascuno si estende in modo diverso;
- Se c'è una buona integrazione tra di loro, le forze vengono riorganizzate e ridistribuite all'interno della struttura che subisce diversi tipi di deformazioni, tra cui la flessione.



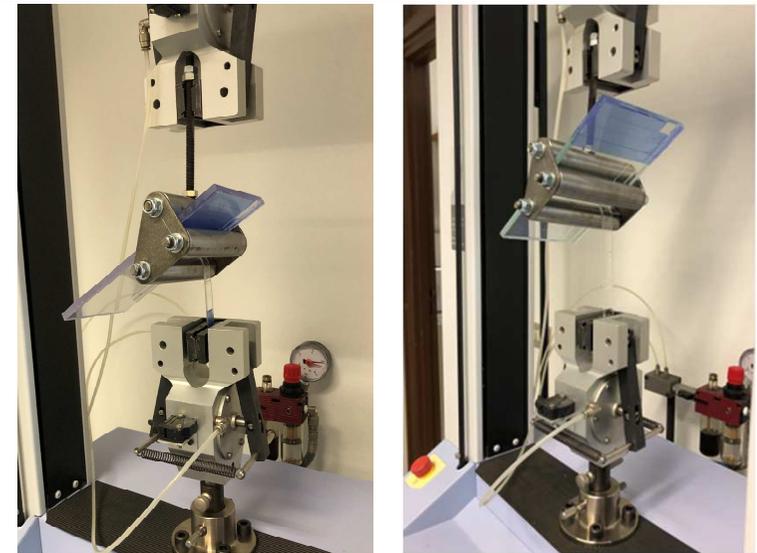
Tensioni interne senza adesione tra strati



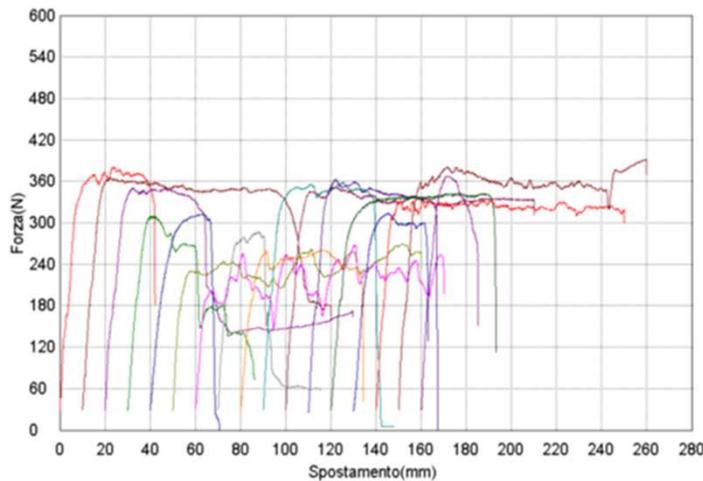
Tensioni interne con adesione tra strati

La prova di peel permette di determinare la resistenza al distacco dei legami adesivi tra un aderente rigido e uno flessibile.

Il macchinario utilizzato nelle prove di peel è lo stesso utilizzato nelle prove di trazione. Esso consente lo stiramento graduale dei provini con carichi regolabili nella velocità di applicazione.



www.dii.unipd.it



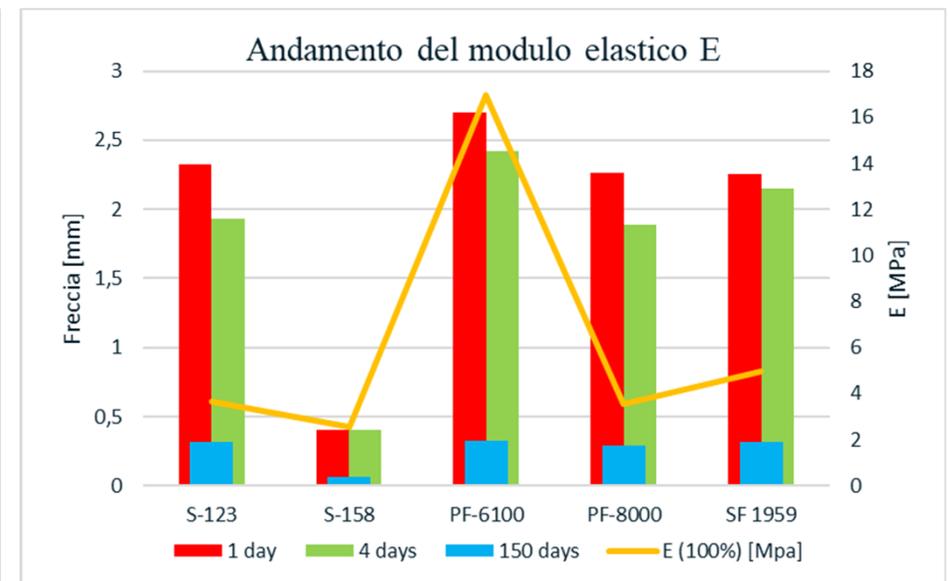
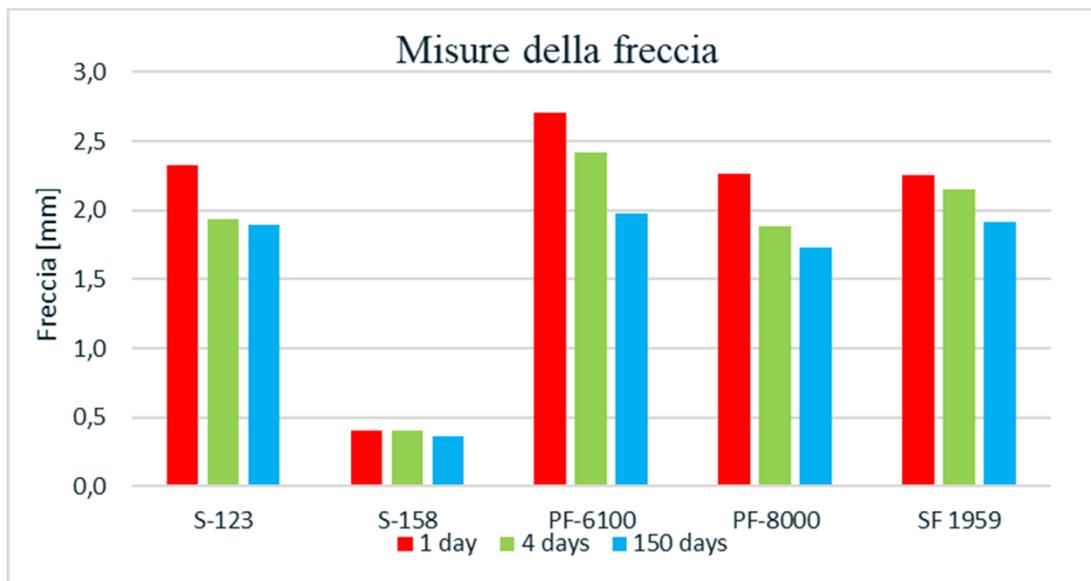
La macchina è collegata ad un server che sfrutta l'app “TRAPEZIUM”, grazie alla quale è possibile ottenere automaticamente i grafici sforzo-deformazione di più campioni sovrapposti.

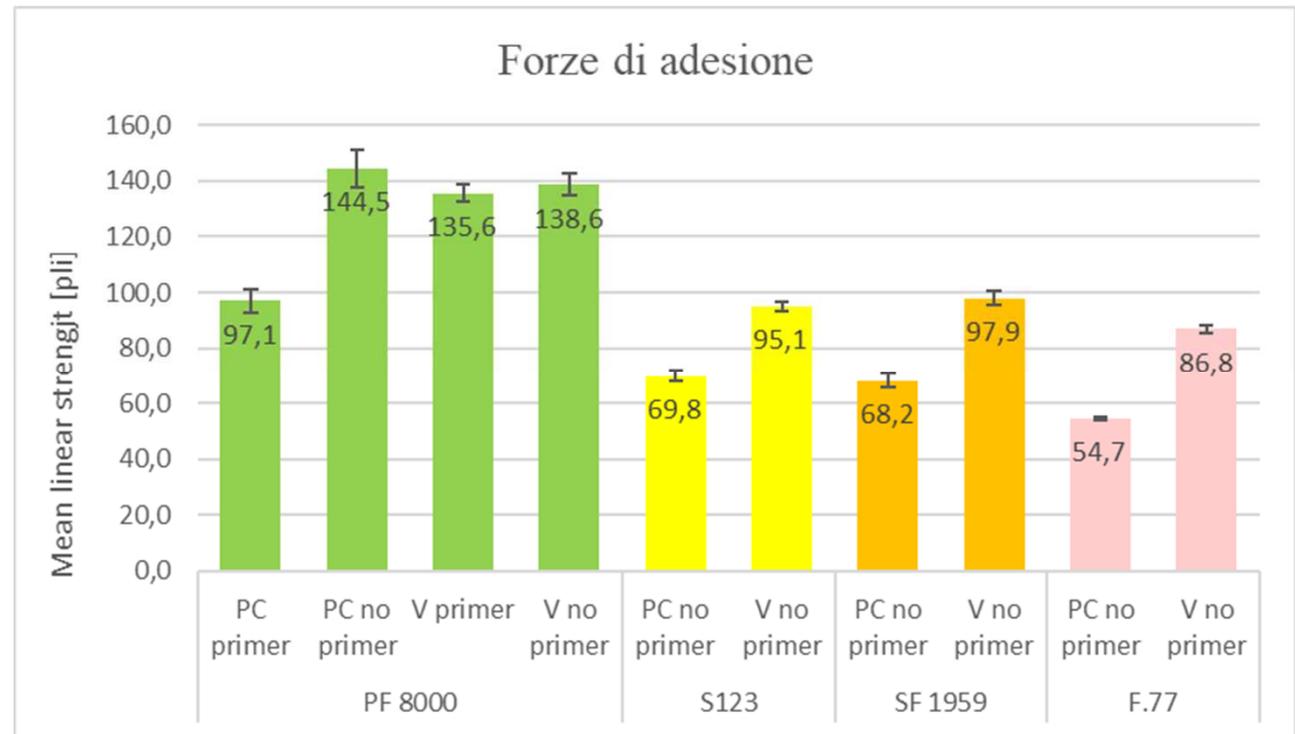
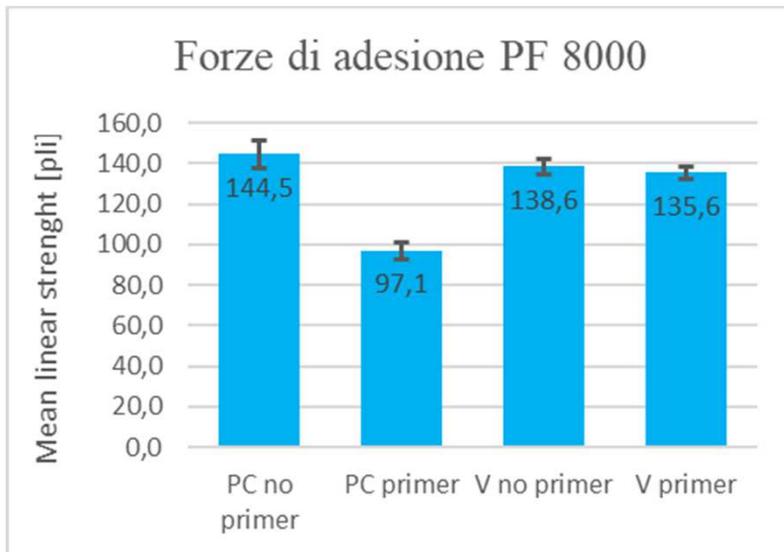
La prova di bollitura ha l'obiettivo di valutare le proprietà ottiche di un campione a temperature ed umidità elevate per verificare il mantenimento di caratteristiche quali trasparenza e compattezza.

Secondo le normative di riferimento, affinché la prova sia valida, è necessario immergere il campione in acqua bollente ($100^{\circ}\text{C} + 0^{\circ}\text{C} / -2^{\circ}\text{C}$) per almeno 24 ore.



Tipologia di TPU	Freccia [mm]			$\Delta (t_f - t_i)$ [mm]	E (100%) [MPa]
	1 day	4 days	150 days		
S-123	2,328	1,932	1,897	0,431	3,65
S-158	0,408	0,405	0,366	0,042	2,55
PF-6100	2,703	2,423	1,977	0,726	16,96
PF-8000	2,264	1,885	1,729	0,535	3,57
SF 1959	2,256	2,151	1,911	0,345	4,98





Secondo la normativa ECE 43, la prova di resistenza alle alte temperature è considerata positiva se non si formano bolle o altri difetti:

- Superiori a 15 mm da un bordo non tagliato;
- Superiori a 25 mm da un bordo tagliato della provetta o del campione;
- Superiori a 10 mm da eventuali crepe che potrebbero verificarsi durante la prova.



Risultato prova campione con primer



Risultato prova campione senza primer

- Nel valutare la deformazione residua di un pannello, le prestazioni migliori sono quelle del PF 6100. Buone risposte interessano anche i poliuretani SF 1959, S 123 e PF 8000. Il meno conveniente è sicuramente l'S 158.
- Nella prova di peel le prestazioni migliori sono quelle del PF 8000. A seguire, si individuano l'S 123, l'SF 1959 e l'F.77. Questi tre poliuretani hanno valori molto distaccati rispetto a quelli del PF 8000 ma simili tra loro.
- La prova di bollitura ha esito positivo perché nessuna delle opzioni descritte dalla ECE 43 si verifica in campioni a base di PF 8000.



Il poliuretano termoplastico PF 8000 permette buone prestazioni in tutte e tre le prove ed è quindi una valida alternativa per l'inserimento nel ciclo produttivo.