

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

Corso di Laurea Magistrale in  
**Ingegneria Chimica e dei Processi Sostenibili**

Tesi di Laurea Magistrale

**Stabilità chimica e caratterizzazione meccanica di adesivi  
strutturali flessibili per impiego veicolistico**



**Relatore**

Prof. Luca Goglio

**Correlatore**

Ing. Fiorenza Di Sciullo

**Candidato**

Ignazio Andrea Alfeo

Anno Accademico 2018/2019



# Sommario

1	Introduzione .....	1
1.1	Adesivi .....	1
1.2	Utilizzo degli adesivi in ambito automobilistico .....	4
1.3	Scopo della tesi .....	6
1.4	Adesivi poliuretanici .....	8
1.5	Adesivi silano modificati .....	10
2	Analisi per la caratterizzazione meccanica e chimica degli adesivi .....	13
2.1	Materiali .....	13
2.1.1	Sikaflex®-250 IF-10 .....	13
2.1.2	Simson ISR 70-08 AP .....	14
2.1.3	Betawipe™ 4800 .....	15
2.1.4	Betaforce™ 9050S .....	16
2.1.5	Betaforce™ 2850S .....	18
2.1.6	Liquido detergente lavavetri NLA/FF .....	19
2.2	Preparazione dei provini per prove di trazione .....	20
2.2.1	Provino a doppia T .....	20
2.2.2	Provino con giunto a sovrapposizione .....	21
2.2.3	Invecchiamento dei provini .....	24
2.3	Procedura prova di trazione .....	25
2.4	Preparazione dei provini per analisi densimetriche .....	26
2.5	Procedura analisi densimetriche .....	26
3	Prove sperimentali .....	29
3.1	Prove di trazione assiale Sikaflex®-250 IF-10 .....	31
3.1.1	Tempo di reticolazione 24 h .....	32
3.1.2	Tempo di reticolazione 168 h .....	36
3.2	Prove di taglio Sikaflex®-250 IF-10 .....	38
3.2.1	Tempo di reticolazione 4 h .....	38
3.2.2	Tempo di reticolazione 24 h .....	41
3.2.3	Tempo di reticolazione 168 h .....	43
3.1	Prove di trazione assiale Simson ISR 70-08 AP .....	45
3.1.1	Tempo di reticolazione 24 h .....	45
3.1.2	Tempo di reticolazione 168 h .....	48
3.2	Prove di taglio Simson ISR 70-08 AP .....	53
3.2.1	Tempo di reticolazione 4 h .....	53

3.2.2	Tempo di reticolazione 24 h .....	54
3.2.3	Tempo di reticolazione 168 h .....	56
3.3	Analisi densimetrica del Simson ISR 70-08 AP .....	57
3.4	Prove di taglio Betaforce™ 9050S .....	58
3.4.1	Tempo di reticolazione 1 h .....	58
3.4.2	Tempo di reticolazione 24 h .....	62
3.5	Prove di taglio Betaforce™ 2850S .....	68
3.5.1	Tempo di reticolazione 24 h .....	68
4	Conclusioni .....	75
	Lista simboli .....	79
	Bibliografia.....	81
	Appendice.....	83

# 1 Introduzione

## 1.1 Adesivi

Le prime testimonianze dell'uso di sostanze adesive nella costruzione di oggetti risalgono agli antichi Egizi, i quali utilizzavano colle a base di caseina per la costruzione di mobili a partire da lamine di legno.

Fino al 1920 tutti gli adesivi erano di origine vegetale o animale (colla di pesce o di animale), ma successivamente grazie allo sviluppo dei materiali polimerici vi è stata la possibilità di ottenere una vasta gamma di adesivi di origine sintetica che ha permesso di allargare i campi di applicazione e di soddisfare una richiesta sempre più elevata da parte del mercato.

Al giorno d'oggi gli adesivi vengono utilizzati in quasi tutte le attività umane: industriali, mediche, nelle costruzioni edili e nei trasporti.

Una sostanza è identificata come adesiva se ha la capacità di trattenere insieme due materiali mediante una superficie di attacco, che viene indicata con il termine "interfaccia" [1]. La capacità di trattenimento delle parti e la forza di adesione dipendono direttamente dalle interazioni che si instaurano fra adesivo e materiale. I meccanismi di adesione sono:

- formazione di legami chimici tra adesivo e substrato, questo tipo di meccanismo generalmente è il più forte e il più duraturo;
- adesione meccanica, la superficie di un materiale non è mai perfettamente liscia quindi l'adesivo può riempire queste microcavità del substrato e fissarsi ad esso;
- attrazione elettrostatica, dovuta alle forze di van der Waals [2].

In particolare, la regione in cui si stabiliscono le forze di adesione viene indicata come interfase ed ha caratteristiche chimiche e fisiche differenti rispetto al bulk dell'adesivo o dell'aderente. In "Figura 1.1" si mostra come vengono identificati le differenti parti di un giunto. Gli aderenti prima dell'incollaggio solitamente vengono identificati come substrati.

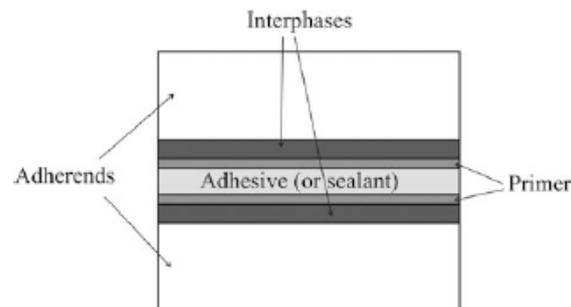


Figura 1.1 Struttura di un giunto con adesivo. (Figura tratta da Handbook of Adhesion Technology [3] con modifiche)

Il contatto intimo che si instaura all'interfaccia permette la trasmissione da un aderente all'altro delle forze e del lavoro attraverso l'area di contatto, ed è per questo motivo che gli adesivi vengono largamente utilizzati nel fissaggio meccanico delle parti. Come si può osservare dalla "Figura 1.2", la trasmissione del carico lungo quest'area avviene in maniera molto più uniforme rispetto ai classici fissaggi meccanici come viti, rivetti o saldature [3].

Nei giunti con adesivo non vi è un'alterazione della struttura dei substrati come ad esempio avviene nel caso di giunti con rivetti o viti, in cui si ha una riduzione della sezione resistente, e non vi sono zone termicamente alterate tipiche di un giunto saldato.

La capacità dell'adesivo di resistere ad un carico dipende da diversi fattori: innanzitutto le caratteristiche meccaniche dell'adesivo, poi la capacità dell'adesivo di sviluppare la corretta adesione con gli aderenti, successivamente il design della zona di incollaggio, le condizioni ambientali e la direzione in cui viene applicato il carico. Generalmente gli adesivi presentano delle prestazioni migliori quando sono sottoposti a carichi di trazione o di taglio rispetto ai carichi di peeling e di cleavage, poiché quest'ultimi concentrano il carico su una piccola area e da ciò ne consegue una scarsa resistenza.

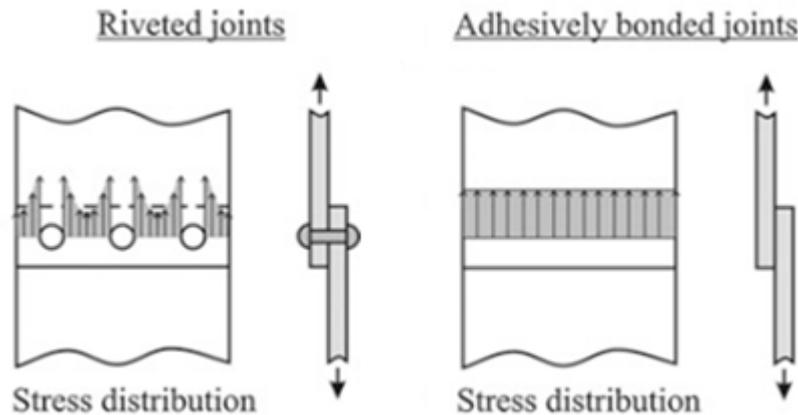


Figura 1.2 Distribuzione del carico di un giunto rivettato rispetto ad un giunto con adesivo strutturale. (Figura tratta da Handbook of Adhesion Technology [3] con modifiche)

In alcuni casi lo stretto contatto, che si viene a creare tra le superfici degli aderenti e l'adesivo, ha la capacità di sigillare e quindi non lascia attraversare gas o fluidi attraverso il giunto. Un altro vantaggio nell'uso degli adesivi è l'isolamento termico ed elettrico. In particolare, quest'ultimo diventa fondamentale nei giunti in cui si accoppiano metalli differenti per evitare la corrosione galvanica.

Scegliendo l'adesivo opportuno si può unire qualsiasi combinazione di materiali indipendentemente da forma, spessore o differenti proprietà chimiche. Ad esempio si possono incollare tra loro materiali che hanno differenti coefficienti di espansione termica infatti, le proprietà viscoelastiche dell'adesivo permettono di compensare una differente dilatazione delle parti. Inoltre, si possono unire substrati che potrebbero essere troppo sottili o piccoli per poter essere saldati senza distorsioni.

La costruzione del giunto avviene applicando l'adesivo tra i substrati in forma:

- liquida o in pasta in modo da poter bagnare la superficie e diffondere attraverso le porosità, al fine di stabilire al meglio il legame con il substrato;
- solida, come ad esempio il nastro biadesivo, ma anche in questo caso sarà morbido a sufficienza cosicché possa compenetrare il substrato.

Nel caso dell'adesivo in pasta, subito dopo l'applicazione, questo dovrà essere in grado di "indurirsi" per resistere e trasmettere i carichi imposti. L'indurimento dipende dal tipo di adesivo e può avvenire per perdita di solvente, raffreddamento (nel caso di adesivi hot melt) o mediante reazione chimica di reticolazione o polimerizzazione.

Grazie a queste caratteristiche gli adesivi trovano largo utilizzo nella produzione di veicoli stradali, su rotaie, aerei e spaziali.

L'introduzione degli adesivi ha contribuito all'innovazione tecnica e stilistica dei veicoli. Infatti, è stato possibile introdurre materiali sempre più leggeri, come ad esempio i materiali compositi, grazie alla capacità di poter fissare materiali differenti [4].

Un altro aspetto importante è la possibilità di ottenere, rispetto a viti e rivetti, un giunto dai contorni lisci che risulta molto vantaggioso dal punto di vista aerodinamico ed estetico. Tutto questo va a beneficio delle prestazioni e dei consumi del veicolo.

I giunti assemblati mediante l'utilizzo di un adesivo hanno consentito di migliorare il comfort dei veicoli, riducendo il rumore e le vibrazioni. Inoltre, questo tipo di fissaggio conferisce al giunto più rigidità alla torsione e maggiore resistenza alla fatica. Non si può dimenticare, infatti, che le saldature a punti, le viti e i rivetti non possono essere applicate se non con una distanza minima fra di loro (per non compromettere le prestazioni strutturali del materiale stesso).

Gli adesivi subentrano anche quando le caratteristiche richieste al giunto sono superiori a quelle massime ottenibili con altri tipi di vincolo. In questo caso, si utilizza una combinazione tra fissaggio meccanico classico ed adesivo per incrementare le prestazioni del giunto.

Poiché gli adesivi vengono usati in una moltitudine di campi di applicazione, la scelta dell'adesivo da utilizzare avviene caso per caso, sulla base dei tipi di substrato e delle condizioni ambientali, che in alcuni casi possono essere anche estreme. Ad esempio, gli adesivi usati per la costruzione di aeroplani devono resistere nella fase di decollo alla variazione di temperatura (dalla temperatura ambiente fino a 223 K) correlata anche da un abbassamento di pressione. Anche gli adesivi utilizzati per i veicoli spaziali devono resistere sia ad alte che a basse temperature ma anche a basse pressioni [5]. Altri adesivi invece come quelli utilizzati per le componenti elettroniche devono, oltre a fissare i componenti, anche sigillare e proteggere i componenti dalle condizioni ambientali.

Infatti, verificata la capacità di adesione dell'adesivo rispetto ai substrati, in alcuni casi sono proprio le condizioni di temperatura ed umidità a cui è soggetto il giunto a rappresentare il limite di applicabilità dell'adesivo.

L'intervallo di temperatura in cui operano i differenti tipi di adesivi varia generalmente tra i 222 K e i 450 K [6]. Poiché ogni sostanza riesce a ricoprire solo parte di questo intervallo esso rappresenta il limite principale nell'utilizzo degli adesivi.

Nei processi produttivi ad alto volume bisogna tenere presente che alcuni adesivi hanno la necessità di processi lenti per poterli adoperare e questo rappresenta uno svantaggio. Infatti, per l'assemblaggio bisogna considerare la necessità di dover mantenere in posizione i substrati fino al fissaggio. Oltre a ciò è necessario garantire in fase di applicazione le giuste condizioni per far avvenire l'adesione come:

- determinate condizioni di temperatura e/o umidità per far avvenire la polimerizzazione, l'evaporazione del solvente o il raffreddamento come nel caso degli hotmelt;
- l'applicazione di pressione;
- esposizione ai raggi UV se necessari per far avvenire la polimerizzazione.

Un aspetto fondamentale nell'applicazione di adesivi è la necessità di avere superfici pulite al fine di ottenere i migliori risultati possibili in termini di adesione. I contaminanti, infatti, si interpongono fra l'adesivo e gli aderenti riducendo la superficie di effettivo contatto, limitando le prestazioni globali del giunto.

A seconda del tipo di substrato e della forza di adesione desiderata, sono necessarie preparazioni superficiali che vanno dalla pulizia con un semplice panno con solvente, all'utilizzo di un primer fino al trattamento fisico come ad esempio il trattamento al plasma.

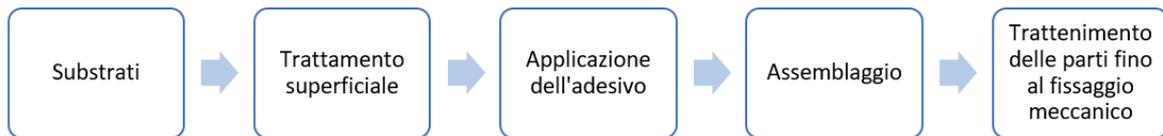


Figura 1.3 Step base nella procedura di applicazione di un adesivo.

Infine, poiché l'ispezione dei giunti finiti per il controllo della qualità è molto difficile con tecniche di controllo non distruttive [6], allora è necessario un controllo rigido dell'intero processo di costruzione del giunto per garantire una qualità uniforme. Infatti, a partire dai trattamenti superficiali fino ad arrivare ai parametri di polimerizzazione, tutto influisce sulle proprietà di adesione e sulle caratteristiche meccaniche finali dell'adesivo.

La rottura del giunto può avvenire secondo quattro meccanismi:

- distacco coesivo, avviene all'interno del bulk dell'adesivo;
- distacco adesivo, questo avviene all'interfaccia tra l'adesivo e l'aderente;
- distacco coesivo/adesivo dato da una combinazione delle prime due tipologie;
- distacco coesivo degli aderenti.

In "Figura 1.4" vengono rappresentate i differenti tipi di distacco.



Figura 1.4 Meccanismi di distacco del giunto.

Generalmente si considera come distacco ideale quello totalmente coesivo dell'adesivo o degli aderenti perché in questo modo il cedimento è avvenuto quando è stata raggiunta la massima resistenza dei materiali del giunto.

La tipologia di distacco non va utilizzata come unico criterio nella scelta di un adesivo per la costruzione di un giunto, questo perché in alcuni casi si potrebbe avere un distacco adesivo per un carico sufficientemente alto da superare le specifiche richieste (in termini di carico applicabile). Tuttavia, l'analisi della figura di distacco risulta utile nel caso in cui si vuole valutare la stabilità di un processo consolidato o nella diagnosi di eventuali anomalie.

## 1.2 Utilizzo degli adesivi in ambito automobilistico

Nella costruzione di un autoveicolo si fa un grande uso di adesivi strutturali e di adesivi sigillanti. In particolare, l'applicazione di materiali adesivi avviene fin dall'inizio della produzione di un veicolo.

I primi adesivi vengono applicati in lastratura ancora prima del bagno di cataforesi, a cui è sottoposta la scocca. Questi adesivi devono:

- resistere all'azione meccanica del dilavamento, dovuto all'immersione e agli effetti idrodinamici del bagno di cataforesi;
- aderire alla scocca nuda (acciaio, acciaio zincato o alluminio, ma sempre lubrificato per le necessità di stampaggio);
- polimerizzare nelle stesse condizioni di temperatura ed entro il tempo in cui la scocca permane all'interno del forno;

- permettere alle parti metalliche di resistere alle stesse prove di corrosione alle quali resiste la cataforesi, visto che gli adesivi vengono applicati sulle lamiere prima della cataforesi stessa e quindi impediscono al primo degli strati di vernice di depositarsi sulla scocca.

In lastratura si fa utilizzo di pannelli irrigidenti, schiume strutturali e sigillanti termoespandibili che in alcuni casi hanno anche la funzione di antivibrante (per esempio, fra la barra anti intrusione e la parte esterna della porta).

In seguito in fase di verniciatura si fa utilizzo di sigillanti in pasta, sigillanti termoespandibili e mastici per evitare le infiltrazioni di acqua all'interno delle lamiere dopo la cataforesi; aspetto fondamentale se si vuole evitare la corrosione delle parti che il bagno di cataforesi non riesce a ricoprire.

In verniciatura vengono applicate anche pellicole anti abrasione e di mascheratura, quest'ultime servono ad evitare la deposizione degli strati di verniciatura o dei fumi di verniciatura nelle piste di incollaggio che serviranno nella fase successiva di montaggio delle parti, come ad esempio il tetto.

Nella fase di montaggio viene effettuato l'incollaggio dei vetri (parabrezza, lunotto, vetro fisso carrozzeria), l'incollaggio di finizioni esterne (spoiler, minigonne, fascioni, codolini) e l'applicazione di pellicole anti-abrasione, etichette, pellicole decorative, particolari autoadesivi, sigle e modanature.

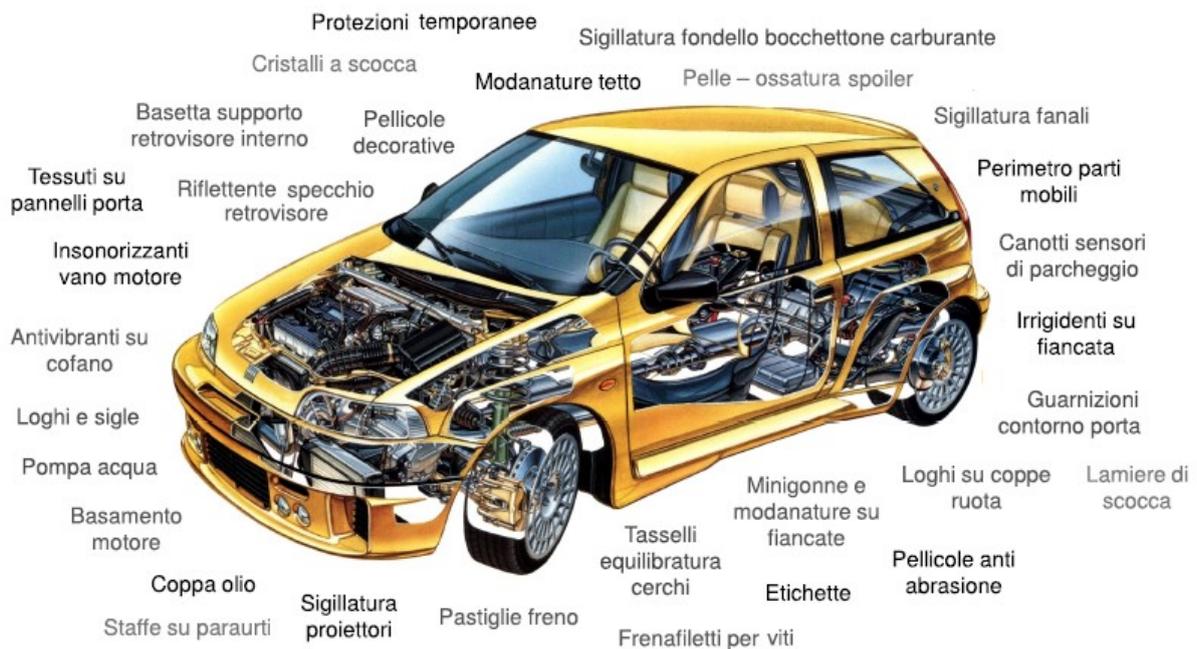


Figura 1.5 Principali usi di adesivi e sigillanti nell'auto.

Oltre all'applicazione su carrozzeria va ricordato che vengono utilizzati: sigillanti e frena filetti impiegati nel gruppo motopropulsore; gli adesivi impiegati nell'impianto frenante; i nastri per cablaggi elettrici ed i sigillanti per i componenti elettrici; gli adesivi per gli allestimenti interni come ad esempio l'applicazione di rivestimenti in tessuto o in pelle, modanature, sigle, specchio retrovisore, ecc.

### 1.3 Scopo della tesi

Il lavoro di questa tesi è stato svolto in collaborazione con il CRF ed ha come obiettivo la valutazione della stabilità chimica e la caratterizzazione meccanica degli adesivi strutturali utilizzati nel processo di produzione di un autoveicolo.

Lo studio è rivolto a due applicazioni differenti:

- incollaggio vetri (parabrezza e lunotto) su scocca;
- incollaggio tetto in fibra di carbonio su scocca.

La prima soluzione storica usata per il fissaggio dei vetri a scocca è stata l'incastro tramite stecche metalliche. Negli anni successivi sono stati sviluppati sistemi di incastro mediante guarnizioni in gomma. In entrambe queste fasi storiche, sono stati usati sigillanti per contenere o eliminare le possibili infiltrazioni d'acqua all'interno dell'abitacolo.

A partire dal 1970 la Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) ha forzato l'introduzione di un adesivo strutturale per incrementare la sicurezza [5]. L'adesivo che verrà utilizzato a partire da questo periodo, e che viene tutt'ora utilizzato, è stato prevalentemente a base poliuretanic, perché questa tipologia di polimeri permette di ottenere un buon compromesso fra discrete caratteristiche meccaniche ed elevata resistenza alle deformazioni e agli agenti atmosferici.

La caratterizzazione meccanica dell'adesivo quindi è fondamentale perché questo è un adesivo strutturale, ovvero deve rendere vetro e scocca un corpo unico al fine di garantire la sicurezza dei passeggeri.

Gli adesivi poliuretanic hanno la capacità di avere un buon trattenimento iniziale delle parti. Dal punto di vista dell'organizzazione della produzione dei veicoli, questo è fondamentale perché all'interno della linea di produzione deve essere possibile movimentare la scocca lungo le stazioni di montaggio nei momenti successivi all'incollaggio dei vetri.

Un altro vantaggio da non sottovalutare nell'uso di questi composti è la possibilità in caso di sostituzione dei vetri (componenti fragili, che possono rompersi in esercizio, quindi è indispensabile prevedere un processo di ripristino), di poter applicare il nuovo cordolo sopra a quello preesistente, purché esso non sia contaminato e sia ben adeso alla scocca. In questo modo non si incorre nel rischio di danneggiare gli strati di vernice nell'azione di rimozione del cordolo e lo si può anche usare come linea guida per l'erogazione del nuovo cordolo.

L'altro obiettivo di questa tesi è la valutazione della stabilità chimica dell'adesivo rispetto al liquido lavavetri. Questo perché i poliuretanic utilizzati hanno un tempo di completa polimerizzazione pari a 7 giorni ma subito dopo 4 ore dall'applicazione del parabrezza e del lunotto viene effettuata una prova per valutare il funzionamento dell'impianto tergicristalli. Quindi l'adesivo non completamente polimerizzato viene a contatto con il liquido che contenendo al suo interno acqua ed alcoli potrebbe interagire con il processo di reticolazione.

Inoltre, si vogliono valutare le caratteristiche degli adesivi silano modificati rispetto agli adesivi poliuretanic.

I silano modificati, a differenza dei poliuretanic, non hanno la necessità dell'applicazione di un primer sulla superficie di contatto con il vetro per poter essere applicati. Questo permetterebbe di ridurre i costi dei vetri, perché questi vengono generalmente acquistati già con il primer sulla serigrafia. Inoltre, il primer ha una data di scadenza, entro cui può essere applicato il vetro, quindi se non è possibile far arrivare i vetri allo stabilimento in tempo o in caso di stop della linea di produzione, si ha la perdita di quei lotti di vetri con conseguente perdita economica. Oltre a questo, i primer sono prodotti ad alto contenuto di solventi. Si tratta di prodotti ad alto rischio

chimico, infiammabili e che richiedono precauzioni per la sicurezza dei lavoratori interessati dalle operazioni di applicazione (anche quando queste avvengono in modalità robotizzata). Evitare l'applicazione di primer porta anche un beneficio ecologico ai processi industriali.

Lo svantaggio degli adesivi a base silano modificata rispetto agli adesivi poliuretanici è la scarsa trattenuta iniziale, che li rende inutilizzabili in flussi di produzione tesi. Infatti, fino ad oggi il CRF ha optato ed utilizzato con successo questi adesivi per l'incollaggio vetri, nell'allestimento di veicoli sportivi, a bassa cadenza produttiva in cui era possibile non movimentare la scocca fino al fissaggio ed inoltre, non avendo un elevato grado di inclinazione dei vetri veniva sfavorito lo scivolamento dello stesso. In questi veicoli, particolarmente critici dal punto di vista prestazionale, era stato necessario sostituire i classici adesivi poliuretanici perché vi era la necessità di un materiale che riuscisse a resistere a temperature più elevate.

In "Figura 1.6" vengono rappresentati i diversi strati di materiali che vengono coinvolti nella costruzione del giunto strutturale tra vetro e scocca.

Il silano modificato è stato caratterizzato meccanicamente ed è stata valutata la sua compatibilità con il liquido lavavetri.

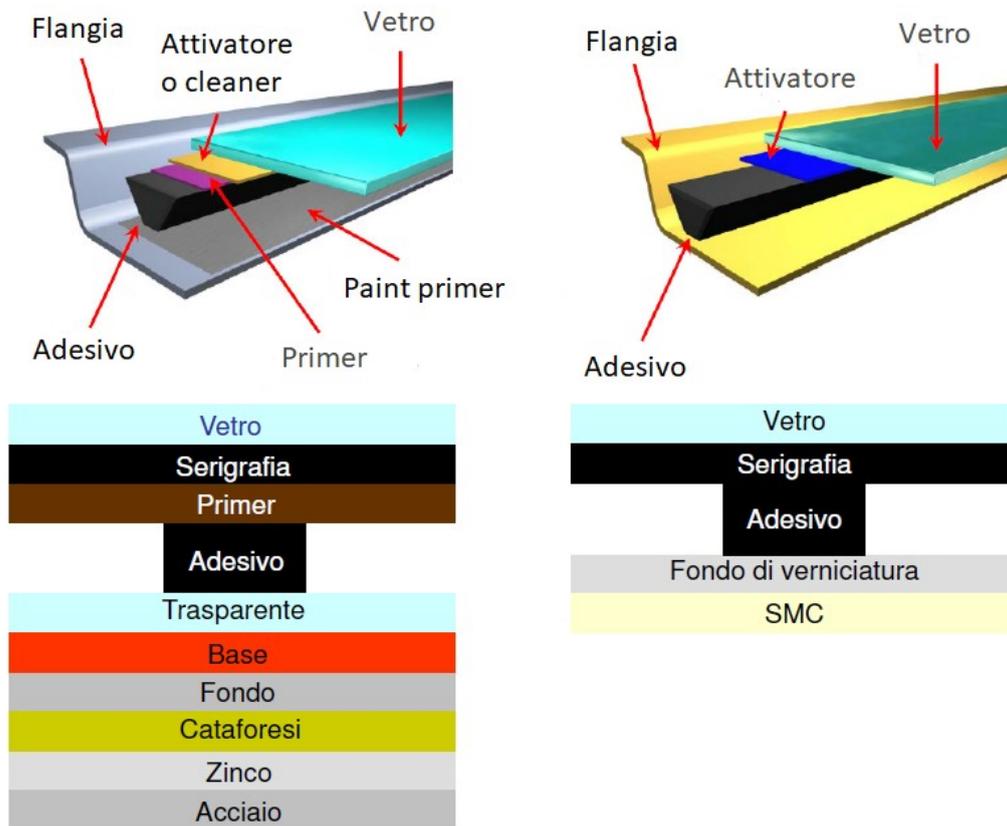


Figura 1.6 Materiali coinvolti nell'incollaggio vetri, a sinistra con adesivo a base poliuretanica e a destra a base polimero MS.

Per quanto riguarda l'incollaggio del tetto in fibra di carbonio su scocca questo avviene mediante l'utilizzo di un adesivo strutturale bicomponente a base poliuretanica.

L'applicazione dell'adesivo, durante il processo di produzione, avviene su scocca sopra lo strato di cataforesi e su fibra di carbonio anch'essa non verniciata. La pista di incollaggio lato scocca è protetta tramite mascheratura per evitare la deposizione di fumi di vernice o di sigillante di

verniciatura. Per questo tipo di applicazione è necessario utilizzare un attivatore su entrambi i substrati per promuovere l'adesione.



Figura 1.7 Materiali coinvolti nell'incollaggio del tetto in fibra di carbonio con adesivo bicomponente a base poliuretana.

Lo spessore finale dell'adesivo è variabile tra 1,5 mm e 4 mm. Inoltre, la polimerizzazione dell'adesivo viene accelerata applicando del calore tramite delle lampade ad infrarossi.

Bisogna scaldare per un tempo di  $5 \pm 2$  minuti alla temperatura di  $338 \pm 5$  K.

Lo studio di questi materiali è finalizzato all'allargamento del processo di incollaggio tetto non solo alle versioni sportive dei veicoli, per il montaggio di tetti in materiale composito, ma lo si vuole allargare a tutta la produzione. Infatti, generalmente il tipo di scocca prodotto in lastratura, per la produzione del medesimo modello di veicolo, varia in base al tipo di tetto da montare come ad esempio tetto in fibra di carbonio, tettuccio apribile o tetto panoramico.

La possibilità di poter produrre un solo modello di scocca e poi successivamente montare il tetto idoneo a quel modello andrebbe a ridurre i costi di produzione e a velocizzare il processo di produzione.

Anche in questo caso si valuterà la stabilità chimica dei due adesivi rispetto al liquido lavavetri. Infatti, in questa zona si può avere un contatto diretto tra adesivo e liquido lavavetri ed inoltre, in alcune condizioni particolari si potrebbe avere un contatto prolungato, come nel caso della pulizia dei cristalli a veicolo stazionario.

## 1.4 Adesivi poliuretanici

I poliuretani sono i polimeri fra i più versatili. Infatti da essi si possono ottenere diverse classi di materiali come schiume morbide o rigide, elastomeri, rivestimenti (coating), adesivi e sigillanti.

Gli adesivi poliuretanici vengono generalmente ottenuti attraverso una polimerizzazione per addizione di diisocianati o poliisocianati con composti che hanno come gruppo terminale il gruppo ossidrilico come alcoli, polioli, polioli polieteri o polioli poliesteri [5].

Il modulo elastico dei poliuretani varia da 2 a 25 MPa.

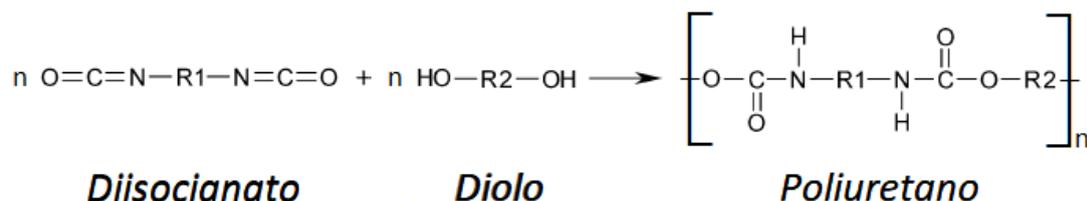


Figura 1.8 Generica reazione di polimerizzazione per addizione con formazione di poliuretano.

I poliuretani per applicazione automobilistiche sono principalmente sintetizzati a partire da:

- difenilmetano-4,4'-di-isocianato (MDI);
- toluene diisocianato (TDI).

Sia il TDI che il MDI devono essere maneggiati con cura, perché gli isocianati sono irritanti per occhi e pelle, possono causare reazioni allergiche, asma, enfisema e broncopolmonite. In particolare dagli studi che sono stati svolti su questi composti, il TDI è risultato essere un agente carcinogeno. Quindi generalmente si utilizza il MDI che ha anche una più bassa tensione di vapore rispetto al TDI [5].

Nei poliuretani sono aggiunti poliisocianati come agenti reticolanti perché consentono il raggiungimento di strutture reticolari tridimensionali. I poliisocianati hanno una volatilità molto ridotta rispetto a MDI e TDI e possono essere utilizzati in modo sicuro.

Nella struttura polimerica dei poliuretani vi è la presenza di catene molecolari rigide definite come “hard segment” e catene flessibili dette “soft segment”. I segmenti rigidi sono costituiti da diisocianati e/o dioli a basso peso molecolare, mentre i segmenti flessibili sono costituiti dai polioli polieteri o polioli poliesteri.

I segmenti dello stesso tipo, grazie alla formazione di legame idrogeno, tendono a raggrupparsi con conseguente creazione di microfasi. Le microfasi rigide agiscono da collegamento tra microfasi flessibili. Questo garantisce le caratteristiche viscoelastiche e la tenacità dei poliuretani. Una maggiore densità dei segmenti rigidi incrementa la rigidità del materiale e gli conferisce una migliore resistenza agli agenti chimici e al calore, invece con una maggiore densità di segmenti flessibili il materiale sarà più elastico con delle migliori proprietà a bassa temperatura.

I poliuretani prodotti con polioli poliesteri presentano un'ottima adesione ai substrati ed hanno una migliore resistenza all'ossidazione a temperature elevate, ma presentano una bassa resistenza all'idrolisi. Invece quelli prodotti con polioli polieteri offrono migliori proprietà a bassa temperatura e resistenza all'idrolisi.

Grazie alla loro versatilità chimica, vengono largamente usati nella produzione di autoveicoli perché è possibile ottenere adesivi flessibili per l'incollaggio di film, o adesivi rigidi per l'incollaggio strutturale; entrambi hanno la capacità di aderire ai metalli, alle vernici ma soprattutto ad un'enorme varietà di plastiche. Infatti, questi composti sviluppano delle buone adesioni sui compositi termo indurenti in fogli (Sheet Molding Component, SMC) e sul poliuretano ottenuto dallo stampaggio a iniezione con reazione (Reaction Injection Molded, RIM) [6].

I poliuretani hanno una buona flessibilità, sono tenaci e resistono all'abrasione. L'intervallo di temperatura in cui possono essere applicati va da 116 K fino ad un massimo di 423 K, ma generalmente vengono utilizzati al di sotto di 373 K. Sono gli unici adesivi che mantengono delle buone proprietà a temperature così basse. Infatti solo i siliconi (sigillanti) hanno delle proprietà migliori a temperature più basse ma riescono a resistere a dei carichi di trazione assiale molto più bassi dei poliuretani [6].

Gli adesivi poliuretanici vengono solitamente forniti dalle case produttrici in due modi:

- Sistema monocomponente, ovvero un fusto contenente i prepolimeri che sono costituiti da una combinazione di polisocinati e di polioli con un eccesso di gruppi isocianati. Questi prepolimeri reticolano grazie all'umidità atmosferica per formare poliuretani e poliuree insolubili di peso molecolare più elevato rispetto ai prepolimeri stessi [6].

- Sistema bicomponente, in questo caso vi è la presenza di due fusti, di cui uno contiene diisocianato mentre l'altro contiene poliolo e poliammine. In questo caso la polimerizzazione dell'adesivo inizia non appena i due componenti vengono miscelati per l'applicazione [5].

Uno dei principali vantaggi dell'uso dei poliuretani è l'assenza di emissioni di solventi durante la polimerizzazione.

Uno svantaggio di questi adesivi è la forte affinità degli isocianati con le molecole d'acqua, con cui reagiscono portando alla formazione di acido carbammico (composto instabile che si decompone in un'ammina primaria e in diossido di carbonio [6]), che rende difficile l'immagazzinamento.

Inoltre, data la chimica dei composti e la sua reattività con i gruppi ossidrilici, risulta quindi necessario uno studio per valutare la stabilità chimica del prodotto nei confronti degli alcoli che sono contenuti nel liquido lavavetri. In particolare, la reazione con gli alcoli procede a temperatura ambiente, senza la necessità di un catalizzatore [7].

In "Tabella 1.1" si riporta la reattività degli isocianati rispetto ad altri composti.

Tabella 1.1 Reattività isocianati (Tabella tratta da Handbook of Adhesives and Sealants [7], con modifiche).

Composto	Formula	Reattività
Ammina alifatica primaria	$R - NH_2$	Alta  Bassa
Ammina alifatica secondaria	$R_2 - NH$	
Ammina aromatica primaria	$Ar - NH_2$	
Alcol primario	$R - CH_2 - OH$	
Alcol secondario	$R_2 - CH - OH$	
Alcol terziario	$R_3 - C - OH$	
Fenoli	$Ar - OH$	
Acqua	$H - O - H$	

## 1.5 Adesivi silano modificati

I polimeri MS, noti anche come MS Polymer (Modified Silane Polymer), combinano le eccellenti proprietà dei siliconi con quelle dei poliuretani ottenendo adesivi e sigillanti caratterizzati da un'elevata forza di adesione su una vasta gamma di materiali con un modulo elastico che varia da 2 a 4 MPa.

Dal punto di vista della storia degli incollaggi industriali, questa categoria di polimeri è una delle ultime introdotte. Le applicazioni in ambito automobilistico sono ancora limitate all'incollaggio di alcuni spoiler ed alcuni vetri, ma sono invece numerose le applicazioni presenti nei settori ferroviario (soprattutto per l'incollaggio dei finestrini laterali) e nautico (per la sigillatura degli scafi).

Generalmente questo tipo di polimeri è costituito da catene di polieteri o di poliuretani che presentano alle estremità il gruppo funzionale  $R_3Si-$ , dove R è un gruppo alchilico o un gruppo metossi. Esempi di polimero MS sono quelli basati su catene di glicole polipropilenico (PPG) ad alto peso molecolare.



Figura 1.9 Formula generale di un polimero MS.

Questi adesivi vengono generalmente commercializzati come monocomponenti costituiti da questi polimeri MS che reticolano grazie all'umidità atmosferica, che va ad idrolizzare i gruppi alcossisilani alle estremità permettendo la formazione dei legami tra le catene [8].

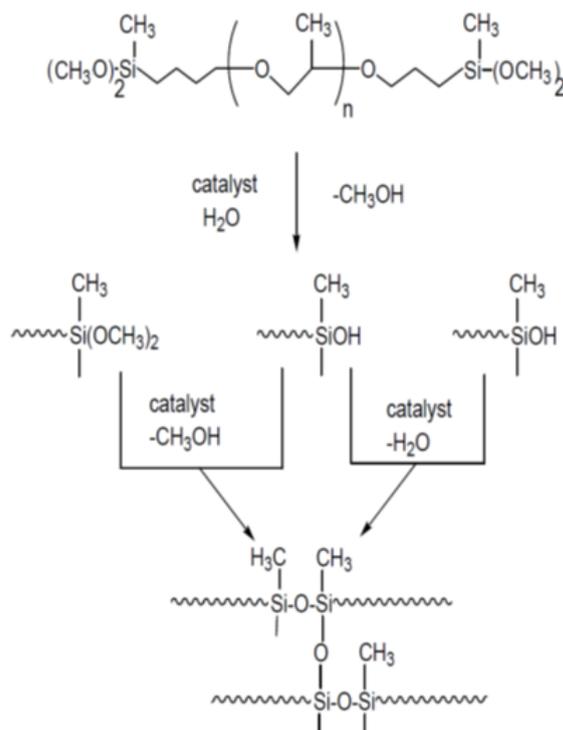


Figura 1.10 Reazione di reticolazione di un polimero MS mediante umidità.

I polimeri MS, rispetto ai siliconi, hanno la capacità di aderire efficacemente su molte superfici senza l'ausilio di primer ed inoltre vanno a creare un incollaggio strutturale dei materiali. Presentano anche una notevole durezza superficiale ed un'ottima resistenza ai raggi UV. Inoltre, sono inodore, privi di solventi e sovraverniciabili.

La presenza di silicio nella catena molecolare migliora la capacità dei polimeri di aderire su altre superfici e migliora la resistenza termica rispetto ai poliuretani. In alcune applicazioni di tipo automobilistico, la migliore resistenza termica, seppur limitata (si parla in genere di 25-30 K in più rispetto agli adesivi poliuretanic) può essere discriminante nella scelta della tipologia di adesivo.

Grazie a questa loro capacità di aderire al vetro con serigrafia ceramica senza l'utilizzo di primer costituiscono un ottimo sostituto dei poliuretani classici nel settore automobilistico per il fissaggio e la sigillatura dei vetri al telaio delle vetture. Un altro vantaggio rispetto ai poliuretani è l'assenza di isocianati.

Anche nel caso dei polimeri di tipo MS, è possibile accelerare la reazione di polimerizzazione andando a miscelare un secondo componente nell'adesivo, contenente umidità immagazzinata (Booster) [4]. In questo caso, la polimerizzazione dell'adesivo non avviene a partire solo dal

bordo del giunto (esposto all'umidità atmosferica), ma avviene in numerosi cluster che si trovano anche all'interno del bulk dell'adesivo. La polimerizzazione completa, quindi, avviene in tempi più rapidi, ma non per un intervento sulla cinetica di reazione, bensì per una diversa distribuzione dell'umidità.

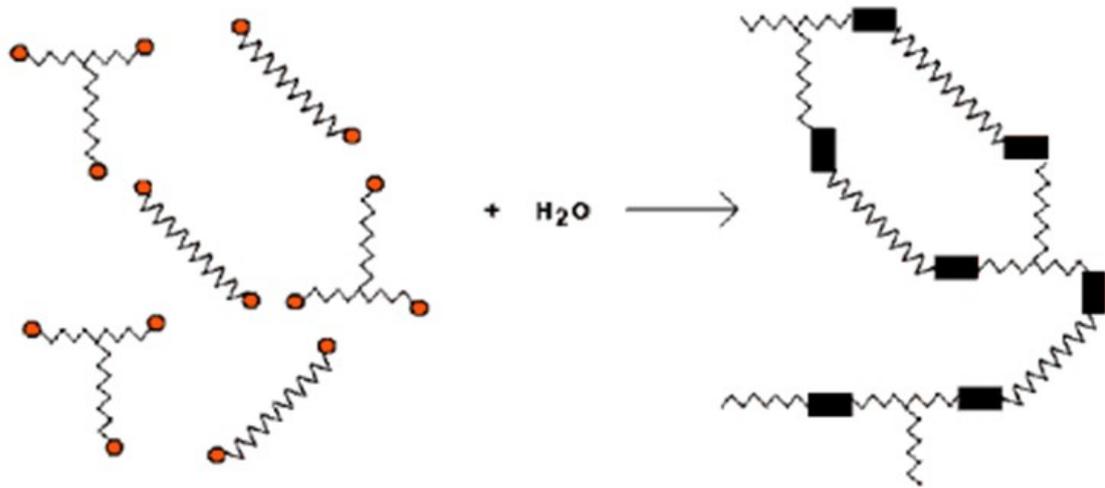


Figura 1.11 Schema di reazione di un polimero MS con umidità atmosferica.

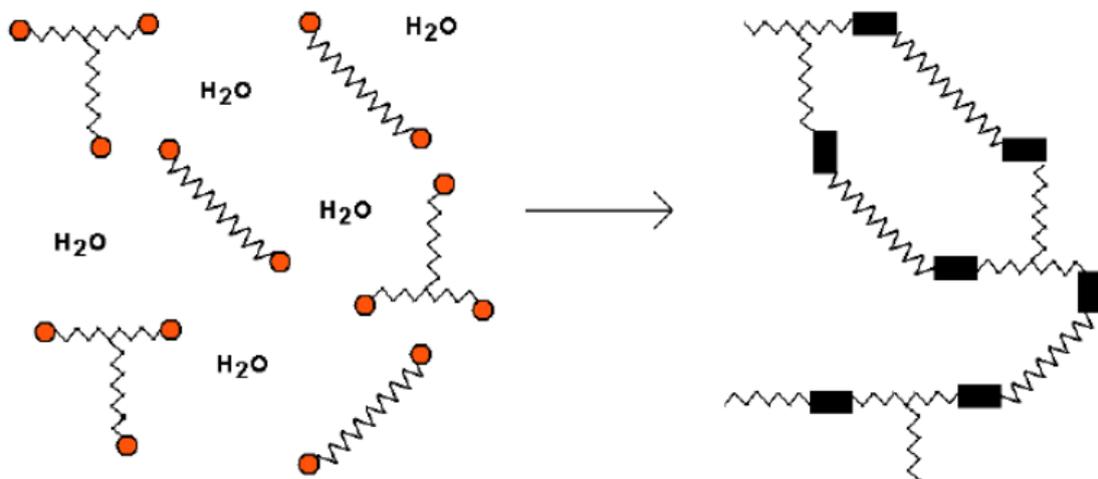


Figura 1.12 Schema di reticolazione di un polimero MS in presenza di un booster.

## 2 Analisi per la caratterizzazione meccanica e chimica degli adesivi

### 2.1 Materiali

#### 2.1.1 Sikaflex®-250 IF-10

Il Sikaflex®-250 IF-10 è un adesivo prodotto dalla Sika AG per l'incollaggio strutturale dei vetri a base polimero poliuretano reattivo caricato.

Si presenta come una pasta nera ed ha la capacità di aderire alla vernice senza la necessità di un primer. La composizione dell'adesivo è riportata in "Tabella 2.1".

Tabella 2.1 Composizione Sikaflex®-250 IF-10 (Tabella tratta dalla Scheda di Sicurezza fornita da Sika AG, con modifiche).

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
Poliisocianato alifatico	1 - 5 %	28182-81-2	
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile	0,1 - 1 %	101-68-8	202-966-0

Questo adesivo reticola a temperatura ambiente mediante l'umidità atmosferica.

In "Figura 2.1" è rappresentata un'approssimazione della velocità di reticolazione del prodotto.

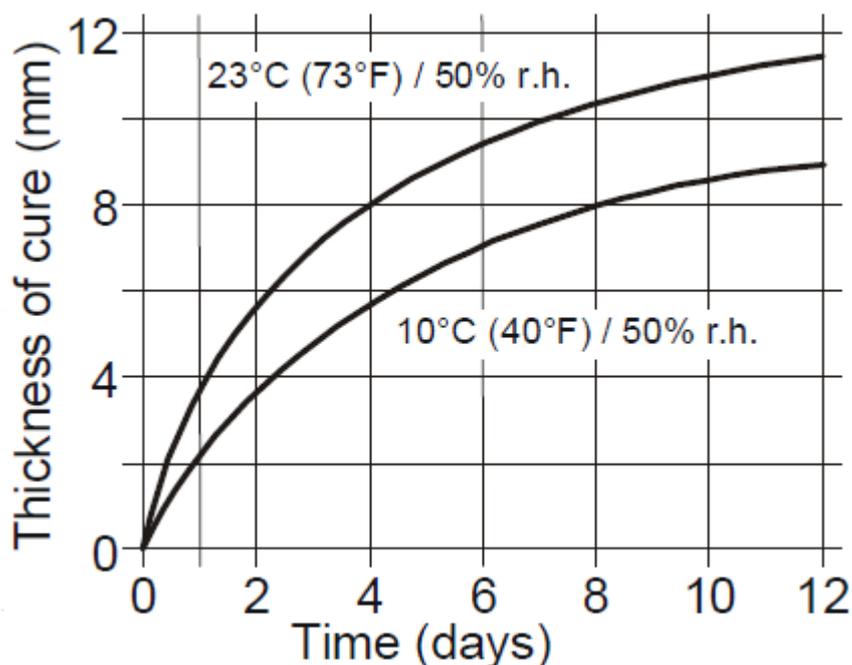


Figura 2.1 Velocità di reticolazione Sikaflex®-250 IF-10 (Figura tratta dalla Scheda Tecnica fornita da Sika AG).

L'adesivo resiste ad acqua dolce e salata, ma anche a soluzioni diluite di acidi e caustiche. Inoltre presenta una resistenza a contatti di breve durata con carburanti, oli minerali ed oli.

Infine, non resiste ad acidi organici, acidi minerali concentrati, diluenti per vernici, soluzioni caustiche e agli alcool. Ed è per questo motivo che è stata analizzata la stabilità chimica di questo adesivo rispetto al liquido lavavetri la cui composizione è descritta nel “Paragrafo 2.1.3”.

In “Tabella 2.2” sono riportate le principali proprietà del prodotto.

Tabella 2.2 Proprietà chimico-fisiche e meccaniche Sikaflex®-250 IF-10 (Tabella tratta dalla Scheda Tecnica fornita da Sika AG, con modifiche).

<b>Proprietà chimico-fisiche e meccaniche</b>	
Densità prima della reticolazione (CQP <sup>1</sup> 006-4)	ca. 1,2 kg/l
Proprietà antiriflesso	Eccellente
Temperatura di applicazione	328 - 333 K
Tempo di formazione della pelle <sup>2</sup> (CQP 019-1)	ca. 20 min.
Tempo aperto <sup>2</sup> (CQP 526-1)	ca. 10 min.
Durezza Shore A (CQP 023-1 / ISO 868)	ca. 70
Resistenza alla trazione (CQP 036-1 / ISO 37)	ca. 6,0 MPa
Allungamento a rottura (CQP 036-1 / ISO 37)	ca. 300 %
Resistenza al taglio (CQP 046-1 / ISO 4587)	ca. 4,0 MPa
Modulo di taglio (CQP 081-1)	ca. 3,5 MPa
Transizione vetrosa (CQP 509-1 / ISO 4663)	223 K
Shelf life <sup>3</sup> (CQP 016-1)	Cartuccia 9 mesi Fusto 6 mesi
<sup>1</sup> CQP = Corporate Quality Procedure <sup>2</sup> 298 K e 50% UR <sup>3</sup> Immagazzinamento sotto i 298 K	

### 2.1.2 Simson ISR 70-08 AP

Il Simson ISR (Industrial Special Range) 70-08 AP è un adesivo sviluppato dalla Arkema appositamente per l’incollaggio vetri nella produzione di veicoli.

Il 70-08 AP è un adesivo in pasta nera a base di polimero silano modificato che vanta un elevato trattenimento iniziale rispetto agli altri polimeri MS. Inoltre, ha un’ottima adesione su molte superfici ed in particolare riesce ad incollare il vetro senza la necessità di utilizzare un primer sopra lo strato di serigrafia ceramica.

Tabella 2.3 Composizione Simson ISR 70-08 AP (Tabella tratta dalla Scheda di Sicurezza fornita dalla Arkema, con modifiche).

<b>Componente</b>	<b>Concentrazione percentuale</b>	<b>Numero CAS</b>	<b>Numero CE</b>
Vinil trimetossi silano	1 - < 3 %	220-449-8	2768-02-7
3-(Trimetossisilil)-propilamina	1 - < 3 %	237-511-5	13822-56-5

Altre caratteristiche di questo prodotto sono la buona resistenza ai raggi UV e la capacità di mantenere le sue proprietà elastiche nell'intervallo di temperatura compreso tra 233 K e 393 K.

L'adesivo polimerizza mediante l'umidità atmosferica a temperatura ambiente.

In "Tabella 2.4" sono riportate le principali proprietà del prodotto.

*Tabella 2.4 Proprietà chimico-fisiche e meccaniche Simson ISR 70-08 AP (Dati tratti dalla Scheda Tecnica fornita da Arkema, con modifiche).*

<b>Proprietà chimico-fisiche e meccaniche</b>	
Densità prima della reticolazione	ca. 1,5 g/ml
Temperatura di applicazione	278 - 343 K
Tempo di formazione della pelle <sup>1</sup>	ca. 15 min
Velocità di reticolazione dopo 24 ore <sup>1</sup>	ca. 3 mm
Durezza Shore A (DIN <sup>2</sup> 53505)	ca. 60
Resistenza alla trazione (DIN 53504/ISO 37)	ca. 2,3 MPa
Carico di rottura (DIN 53504/ISO 37)	ca. 2,9 MPa
Allungamento alla rottura (DIN 53504/ISO 37)	ca. 250%
Resistenza al taglio (DIN 53283/ASTM D1002)	ca. 2,4 MPa
Modulo di Young (10%) (DIN 53504/ISO 37)	ca. 5,5 MPa
Transizione vetrosa	214 K
Resistenza alla temperatura	253 - 413 K 473 K massimo 30 min
Shelf life	Cartuccia 18 mesi Fusto 12 mesi
<sup>1</sup> 293 K e 50% UR	
<sup>2</sup> DIN = Istituto tedesco per la standardizzazione	
<sup>3</sup> ISO = Organizzazione internazionale per la normazione	

### **2.1.3 Betawipe™ 4800**

Il Betawipe™ 4800 è un attivatore prodotto dalla Dow Automotive Systems. Si presenta come un liquido incolore ed è utilizzato come promotore di adesione per superfici e-coated (rivestiti tramite elettrodeposizione), plastiche e materiali in fibra di carbonio.

Si raccomanda l'utilizzo dell'attivatore su superfici pulite prive di sporco, acqua e oli.

In “Tabella 2.5” sono elencati i componenti dell’attivatore.

*Tabella 2.5 Composizione Betawipe™ 4800 (Tabella tratta da Scheda di Sicurezza fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).*

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
n-eptano	90 - 100 %	142-82-5	205-563-8
Dimetilbis((1-ossidecil)ossi)stannano)	0,1 - 1 %	68928-76-7	273-028-6

In “Tabella 2.6” sono riportate le principali proprietà del Betawipe™ 4800.

*Tabella 2.6 Proprietà chimico-fisiche Betawipe™ 4800 (Tabella tratta da Scheda tecnica e di sicurezza fornite da Dow Automotive Systems, con modifiche).*

Proprietà chimico-fisiche	
Densità	0,69 – 0,72 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura di applicazione	283 - 313 K
Tempo aperto minimo	ca. 1 min
Tempo aperto massimo	ca. 5 h
Contenuto solido	ca. 1%
Punto di ebollizione (101325 Pa)	371,4 K
Punto di infiammabilità (vaso chiuso)	269 K
Temperatura di autoaccensione	483 K
Shelf life	6 mesi a 278-298 K in contenitore chiuso

#### 2.1.4 Betaforce™ 9050S

Il Betaforce™ 9050S è adesivo poliuretano bi-componente prodotto dalla Dow Automotive Systems caratterizzato da una polimerizzazione veloce che avviene anche a temperatura ambiente.

### 2.1.4.1 Componente A - Betaforce™ 9050S IsoC

Tabella 2.7 Composizione Componente A - Betaforce™ 9050S IsoC (Tratto dalla Scheda di Sicurezza fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
Difenilmetano diisocianato, isomeri ed omologhi	15 - 25 %	9016-87-9	618-498-9
Polimero di glicole propilenico ed ossido di propilene	15 - 25 %	25322-69-4	-
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile	10 - 20 %	101-68-8	202-966-0
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile, omopolimero	10 - 20 %	25686-28-6	500-040-3
Esametilene-1,6-diisocianato, omopolimero	1 - 10 %	28182-81-2	931-288-4

### 2.1.4.2 Componente B - Betaforce™ 9050S PolC

Tabella 2.8 Composizione Componente B - Betaforce™ 9050S PolC (Tratto dalla Scheda di Sicurezza fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
Glicol etilenico	1 - 10 %	107-21-1	203-473-3
Trimetilolpropano poli(ossipropilene) triammina	3 - 5 %	39423-51-3	500-105-6
1,8-diazabicyclo [5.4.0]undec-7-ene	10 - 20 %	101-68-8	202-966-0
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile, omopolimero	0,1 - 1 %	6674-22-2	229-713-7

Il rapporto di miscelazione è 1:1.

L'adesivo si presenta come una pasta grigia ed ha una buona adesione su plastiche, materiali compositi e superfici verniciate.

Inoltre, presenta un'elevata resistenza agli agenti chimici acquosi, benzina, alcool e oli minerali.

Tabella 2.9 Proprietà chimico-fisiche e meccaniche Betaforce™ 9050S (Dati tratti dalla Scheda Tecnica fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

<b>Proprietà chimico-fisiche e meccaniche</b>	
Densità Componente A	ca. 1,38 g/cm <sup>3</sup>
Densità Componente B	ca. 1,34 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura di applicazione	291 - 301 K
Tempo aperto	ca. 6 - 10 min.
Resistenza alla trazione (DIN <sup>1</sup> EN <sup>2</sup> ISO <sup>3</sup> 527-2)	ca. 18 MPa
Allungamento a rottura (DIN EN ISO 527-2)	ca. 80 %
Modulo di elasticità longitudinale (DIN EN ISO 527-2)	ca. 300 MPa
Resistenza al taglio (DIN EN 1465) dopo 7 giorni	ca. 18 MPa
Resistenza al taglio (DIN EN 1465) dopo 1 ora	ca. 0,7 MPa
Modulo di elasticità tangenziale (DIN EN 14869-2) dopo 7 giorni	ca. 100 MPa
Transizione vetrosa	228 K
Shelf life	6 mesi a 278 - 298 K in contenitore chiuso
<sup>1</sup> DIN = Istituto tedesco per la standardizzazione <sup>2</sup> EN = European standards <sup>3</sup> ISO = Organizzazione internazionale per la normazione	

### 2.1.5 Betaforce™ 2850S

Il Betaforce™ 2850S è adesivo poliuretano bi-componente prodotto dalla Dow Automotive Systems è caratterizzato da una polimerizzazione veloce a temperatura ambiente.

#### 2.1.5.1 Componente A - Betaforce™ 2850S IsoC

Tabella 2.10 Composizione Componente A - Betaforce™ 2850S IsoC (Tratto dalla Scheda di Sicurezza fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

<b>Componente</b>	<b>Concentrazione percentuale</b>	<b>Numero CAS</b>	<b>Numero CE</b>
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile	15 - 25 %	101-68-8	202-966-0
Diisocianato di 4,4'-metilendifenile, omopolimero	25 - 35 %	25686-28-6	500-040-3
Diisonil ftalato	15 - 25 %	28553-12-0	249-079-5

### 2.1.5.2 Componente B - Betaforce™ 9050S PolC

Tabella 2.11 Composizione Componente B - Betaforce™ 2850S PolC (Tratto dalla Scheda di Sicurezza fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
1,4-Butandiolo	< 10 %	110-63-4	203-786-5

Il rapporto di miscelazione è 1:1.

L'adesivo si presenta in pasta nera ed ha una buona adesione su plastiche, materiali compositi e superfici verniciate.

Inoltre, presenta un'elevata resistenza a benzina, alcool e oli minerali.

Tabella 2.12 Proprietà chimico-fisiche e meccaniche Betaforce™ 2850S (Dati tratti dalla Scheda Tecnica fornita da Dow Automotive Systems, con modifiche).

Proprietà chimico-fisiche e meccaniche	
Densità Componente A	ca. 1,17 g/cm <sup>3</sup>
Densità Componente B	ca. 1,43 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura di applicazione	291 - 301 K
Tempo aperto	ca. 6 - 9 min.
Resistenza alla trazione (DIN <sup>1</sup> EN <sup>2</sup> ISO <sup>3</sup> 527-2)	ca. 10 MPa
Allungamento a rottura (DIN EN ISO 527-2)	ca. 150 %
Modulo di elasticità longitudinale (DIN EN ISO 527-2)	ca. 21 MPa
Resistenza al taglio (DIN EN 1465) dopo 7 giorni	ca. 10.2 MPa
Resistenza al taglio (DIN EN 1465) dopo 1 ora	ca. 0,6 MPa
Durezza Shore A (DIN 53 505)	ca. 78
Transizione vetrosa	228 K
Temperature di esercizio	233 – 363 K per tempi brevi 433 K
Shelf life	6 mesi a 278 - 298 K in contenitore chiuso
<sup>1</sup> DIN = Istituto tedesco per la standardizzazione <sup>2</sup> EN = European standards <sup>3</sup> ISO = Organizzazione internazionale per la normazione	

### 2.1.6 Liquido detergente lavavetri NLA/FF

Il liquido lavavetri NLA/FF è prodotto da Petronas ed è un liquido dal colore verde chiaro che viene utilizzato negli impianti di produzione dei veicoli per la prova dell'impianto lavavetri. La cui composizione è riportata in "Tabella 2.13".

Tabella 2.13 Composizione liquido lavavetri NLA/FF (Tabella tratta dalla Scheda di Sicurezza fornita da Petronas, con modifiche).

Componente	Concentrazione percentuale	Numero CAS	Numero CE
Etanolo	30 - 40 %	64-17-5	200-578-6
Propan-2-olo	20 - 30 %	67-63-0	200-661-7
Ammidi, cocco, N-[3-(dimetilammino)propil]	0,1 - 1 %	68140-01-2	267-718-8

In “Tabella 2.14” si riportano le proprietà chimico-fisiche.

Tabella 2.14 Proprietà chimico-fisiche NLA/FF (Dati tratti dalla Scheda Tecnica e dalla Scheda di Sicurezza forniti da Petronas, con modifiche).

Proprietà chimico-fisiche	
Densità <sup>1</sup> (ASTM <sup>2</sup> D4052)	0,890 g/cm <sup>3</sup>
pH (ASTM D1287)	8,3
Punto di cristallizzazione (ASTM D1177)	< 233,1 K
Punto di infiammabilità (ASTM D93)	288 K
Temperatura di autoaccensione	573 K
<sup>1</sup> 293 K	
<sup>2</sup> ASTM = American Society for Testing and Materials International	

## 2.2 Preparazione dei provini per prove di trazione

La preparazione dei provini è svolta in accordo con le normative Fiat Chrysler Automobiles. In particolare, per il Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 è stata utilizzata la norma MS. 90098: Polyurethane Adhesive for glass-to-metal bonding with high initial tack; per il Simson ISR 70-08 AP è stata utilizzata la norma di riferimento è il Doc. No. 9.55738: Elastic Adhesives for assembly; mentre per il Betaforce<sup>™</sup> 9050S e per il Betaforce<sup>™</sup> 2850S è stata usata la MS. 90045: Adhesive for Glass Fiber Reinforced Polyester.

### 2.2.1 Provino a doppia T

La preparazione dei provini parte dall'assemblaggio di uno stampo di politetrafluoroetilene (PTFE) da cui si ricava una lastra rettangolare di adesivo. Si utilizza politetrafluoroetilene per le sue note proprietà antiaderenti e di inerzia chimica che lo rendono un materiale difficilissimo da incollare. Lo stampo è ottenuto dalla sovrapposizione di due lamine, una base ed una cornice, in modo da ottenere una vaschetta all'interno della quale è erogato l'adesivo.

La cartuccia di adesivo è scaldata all'interno di un forno alla temperatura consigliata sulle schede di sicurezza dei materiali, in modo da rendere più fluido l'adesivo e facilitare l'applicazione dello stesso:

- Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 la cartuccia è scaldata a 333 K;
- Simson ISR 70-08 AP è scaldata a 313 K.

Si provvede quindi ad una profonda pulizia delle superfici dello stampo di politetrafluoroetilene con delle salviette monouso preimpregnate di eptano. Successivamente si provvede ad erogare l'adesivo mediante una pistola elettrica all'interno dello stampo e quando è completamente ricoperto si rimuove il materiale in eccesso mediante l'utilizzo di una spatola in modo da ottenere una superficie completamente piana e di conseguenza uno spessore costante del materiale pari allo spessore della cornice in PTFE. I provini ottenuti hanno uno spessore variabile tra 1 - 4 mm.

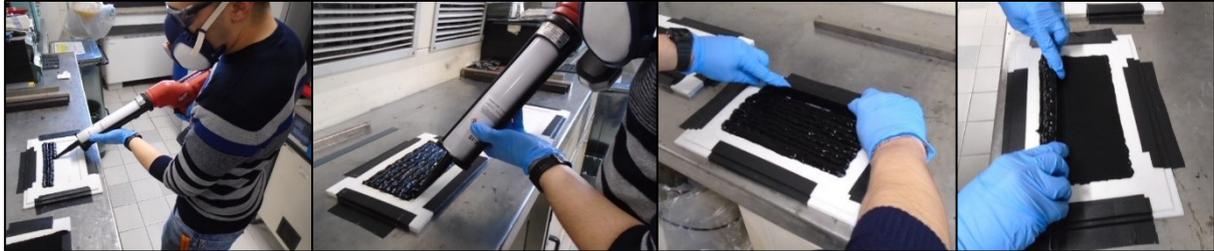


Figura 2.2 Preparazione provini doppia T.

Si attende il tempo necessario per la reticolazione del materiale ed infine si estrae la lastra di adesivo dallo stampo che viene fustellata per ottenere la forma del provino desiderata.



Figura 2.4 Fustellatrice.

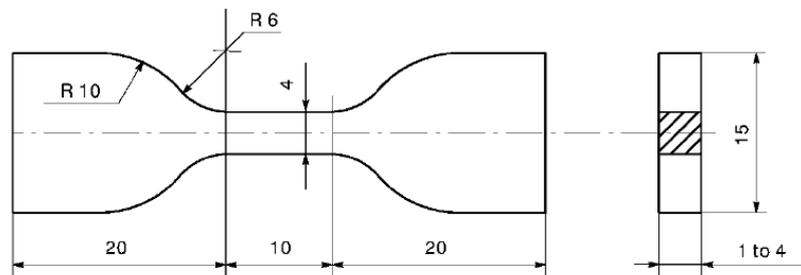


Figura 2.3 Provino a doppia T.

Per entrambi gli adesivi testati era stato previsto lo svolgimento delle prove di caratterizzazione dopo i seguenti tempi di polimerizzazione:

- 4 h;
- 24 h;
- 168 h.

Si voleva testare il materiale dopo 4 h perché questo è il tempo dopo cui generalmente si testa l'impianto lavavetri lungo la linea di produzione. Ma in così poco tempo l'adesivo non riesce ad indurirsi nella zona di contatto con la base di PTFE e di conseguenza non è possibile rimuovere la lastra di adesivo senza danneggiarla.

Il materiale è considerato completamente polimerizzato dopo 168 h.

La procedura è svolta in un ambiente in cui la temperatura è pari a  $296 \pm 5$  K con umidità relativa compresa tra il 45-70%.

### 2.2.2 Provino con giunto a sovrapposizione

I provini per gli adesivi monocomponenti (Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 e Simson ISR 70-08 AP) sono ottenuti dalla sovrapposizione di due lamine di metallo. Le lamine di metallo hanno una dimensione pari a 100 x 25 x 0,8 mm ed hanno subito lo stesso ciclo di verniciatura che viene utilizzato per la produzione dei veicoli.

Per questo tipo di provini è necessario valutare la capacità di adesione sulla vernice prima della prova di trazione. Poiché, la prova di adesione dei due adesivi testati era già stata svolta dal laboratorio Adhesives & Sealants del CRF non è stato necessario ripeterla.

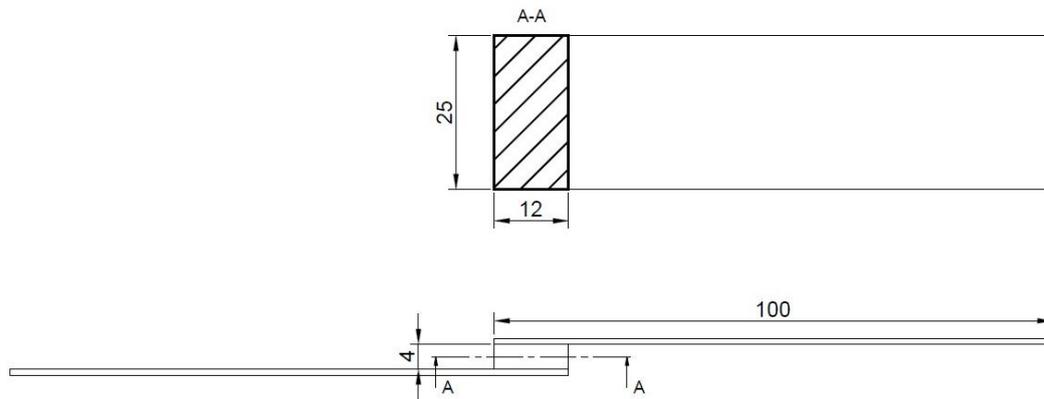


Figura 2.5 Provino con giunto a sovrapposizione.

Le superfici delle lamine di metallo sono pulite con salviette monouso preimpregnate di eptano. L'erogazione dell'adesivo è effettuata mediante una pistola elettrica Milwaukee, con cui l'adesivo è erogato nella zona di incollaggio su una lamina ed entro 5 min è necessario sovrapporre l'altra lamina. La sovrapposizione deve essere pari a 12 mm e lo spessore dell'adesivo posto tra le due lamine deve essere di 4 mm. L'adesivo è stato precedentemente scaldato alle temperature indicate nel "Paragrafo 2.2.1". Si rimuove l'adesivo in eccesso e si lascia il provino in posizione per il tempo necessario alla reticolazione ad una temperatura pari a  $296 \pm 5$  K ed umidità relativa compresa tra il 45-70%.



Figura 2.6 Preparazione del provino con giunto a sovrapposizione.

Per entrambi gli adesivi testati sono state svolte prove di caratterizzazione dopo i seguenti tempi di reticolazione:

- 4 h;
- 24 h;
- 168 h.

Per quanto riguarda i provini preparati per testare gli adesivi bicomponenti (Betaforce™ 9050S e 2850S) sono state utilizzate delle lamine in fibra di carbonio. Le lamine sono ricavate tramite taglio waterjet a partire da un tetto in fibra di carbonio prodotto dalla Sparco®. Le dimensioni delle lamine sono: 100 x 25 x 1,5 mm.

I provini prima dell'erogazione dell'adesivo vengono puliti a fondo con salviette preimpregnate con eptano. Successivamente mediante l'utilizzo di un tampone si applica l'attivatore

Betawipe™ 4800. Dall'applicazione dell'attivatore si attendono 10 min prima di effettuare l'applicazione dell'adesivo. L'applicazione va fatta entro 90 min dall'applicazione dell'attivatore.

L'erogazione dell'adesivo viene effettuata mediante l'apposita pistola erogatrice Betagun™ in cui vengono inserite entrambe le cartucce dei componenti. L'erogazione avviene con un rapporto di miscelazione 1:1.



*Figura 2.7 Pistola erogatrice ad aria compressa Betagun™ per cartucce bicomponente con rapporto di miscelazione 1:1.*

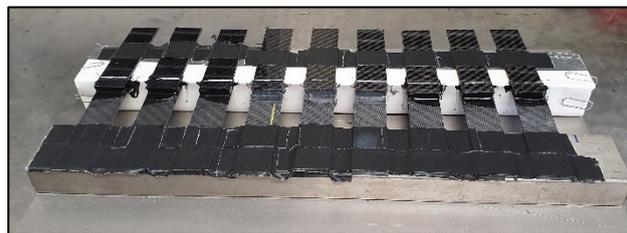
La miscelazione dei due componenti avviene mediante un ugello miscelatore statico.



*Figura 2.8 Miscelatore statico a 32 passi.*

Per questi provini si utilizzano differenti spessori di adesivo interposto tra le due lamine. Gli spessori utilizzati sono:

- 1,5 mm;
- 3 mm;
- 4,5 mm.



*Figura 2.9 Preparazione del provino per gli adesivi bicomponenti.*

I provini dopo l'assemblaggio vengono lasciati in un ambiente con una temperatura pari a  $296 \pm 5$  K ed umidità relativa compresa tra il 45-70%. I tempi di reticolazione per questi provini sono:

- 1 h;
- 24 h.

### 2.2.3 Invecchiamento dei provini

Dopo aver atteso il tempo di polimerizzazione i provini sono stati testati a nuovo e dopo invecchiamento.

La prima tipologia di invecchiamento è l'immersione del provino all'interno del liquido lavavetri NLA/FF per due differenti tempi di immersione:

- 1 h;
- 24 h.

Il primo tempo di immersione potrebbe rispecchiare una condizione verosimile ovvero un possibile accumulo nella zona di incollaggio. Mentre con il secondo tempo di immersione si vuole accelerare l'invecchiamento dei provini, andando a simulare ristagni e contatti accidentali ripetuti nel corso della vita veicolo.



Figura 2.10 Immersioni dei provini a doppia T nel liquido lavavetri NLA/FF.

La seconda tipologia di invecchiamento consiste nell'immersione del provino nel liquido NLA/FF, anche in questo caso si usano entrambi i tempi di immersione (1 h e 24 h) e, successivamente si sottopongono i provini a tre cicli termici. Ogni ciclo termico ha una durata di 24 h in cui i provini sono sottoposti ad una prima fase di caldo secco all'interno di un forno a 353 K per 4 h, successivamente i provini sono posti all'interno di una cella climatica per 16 h a 313 K ed umidità relativa del 98%, infine si collocano i provini all'interno di un congelatore da laboratorio ad una temperatura di 233 K per 4 h.

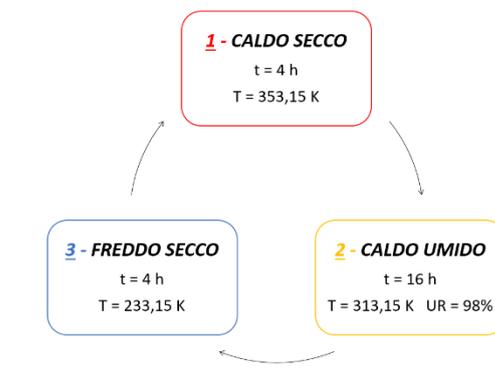


Figura 2.11 Ciclo Termico.

Questa tipologia di invecchiamenti è concepita per valutare il comportamento meccanico dell'adesivo nelle condizioni di utilizzo del veicolo qualora questo venisse danneggiato dall'immersione nel liquido NLA/FF.

La terza ed ultima tipologia di invecchiamento consiste in una prima immersione nel liquido lavavetri NLA/FF, successivamente si sottopongono i provini ai tre cicli termici, gli stessi descritti precedentemente, ed infine si effettua una seconda immersione. Anche per questi invecchiamenti si utilizzano entrambi i tempi di immersione.

Con l'ultimo invecchiamento si vogliono simulare in maniera accelerata i normali cicli di utilizzo della vettura.

In “Figura 2.12” si riporta lo schema degli invecchiamenti svolti.

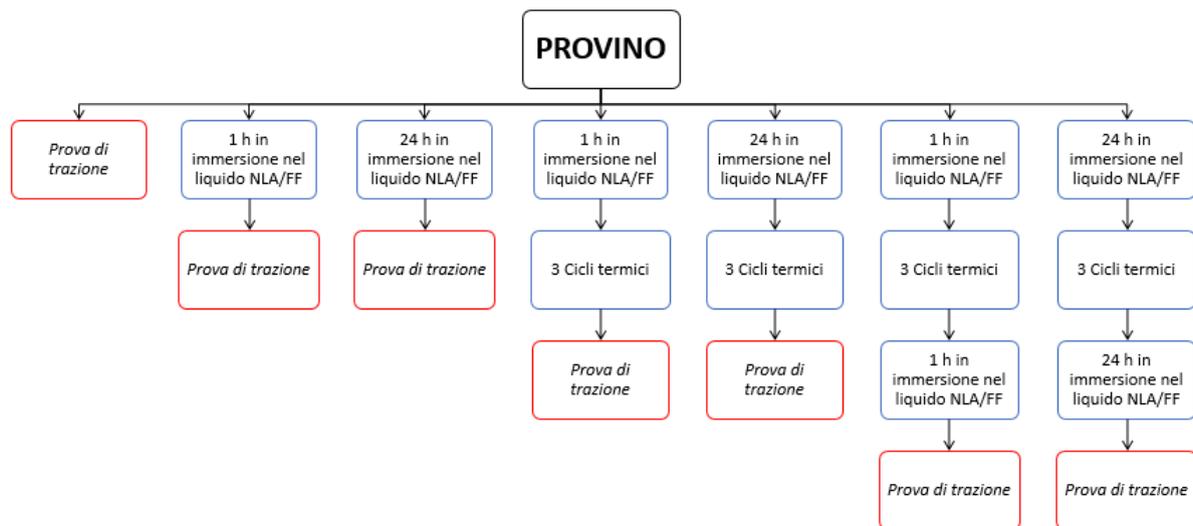


Figura 2.12 Invecchiamento dei provini.

A seguire si identifica con la sigla TQ (tal quale) i provini a nuovo, con la sigla IMM l’immersione nel liquido lavavetri NLA/FF ed infine con CT i cicli termici.

### 2.3 Procedura prova di trazione

Le prove di trazione sono state svolte mediante un dinamometro in un ambiente a temperatura ed umidità controllata. Infatti, in accordo con le norme indicate al “Paragrafo 2.2”, tutte le prove sono svolte ad una temperatura pari a  $226 \pm 2$  K ed umidità relativa pari al  $50 \pm 10$  %.

Prima di sottoporre il provino al test di trazione si misura mediante un calibro digitale la sezione resistente del provino. Nei provini a doppia T si misura spessore e larghezza della sezione utile mentre, nei provini con giunto a sovrapposizione si misura larghezza e lunghezza.

I provini vengono fissati alle morse del dinamometro assicurandosi di porre il provino in maniera perfettamente verticale ed il più possibile centrato rispetto alle morse di serraggio.

In funzione della tipologia di provino è stata scelta la cella di carico opportuna e, mediante il software di cui è fornito il dinamometro, è stata imposta la velocità di trazione prescritta dalla norma. In particolare, si ha:

- Provino a doppia T:
  - Cella di carico: 1 kN;
  - Velocità trasversa: 50 mm/min.

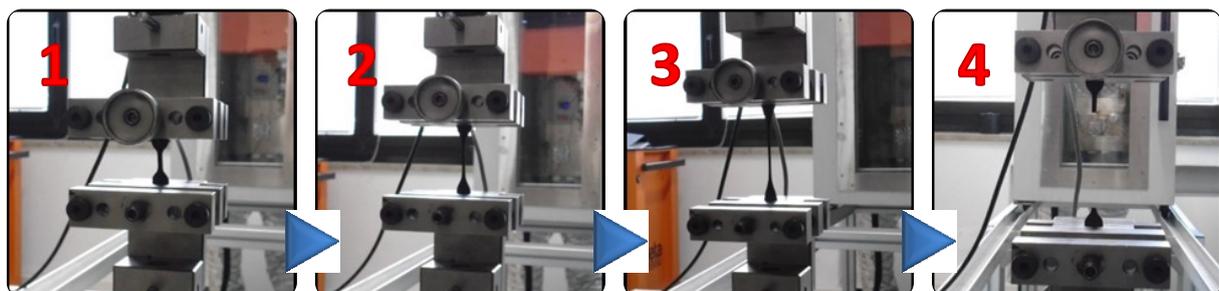
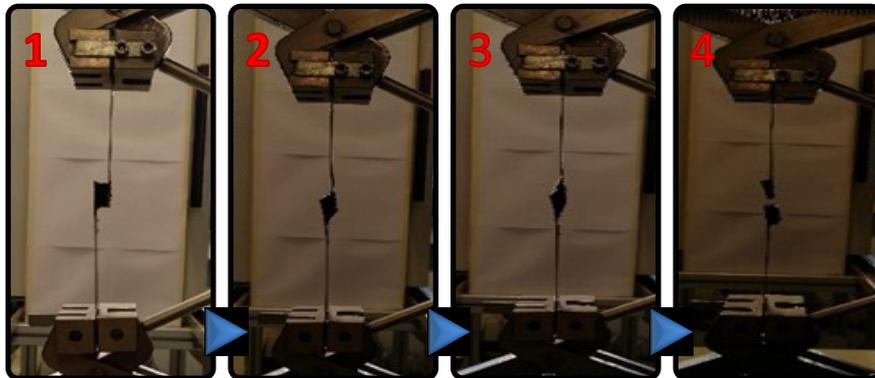


Figura 2.13 Esempio di prova di trazione assiale mediante dinamometro.

- Provino con giunto a sovrapposizione:
  - Cella di carico: 50 kN;
  - Velocità traversa:  $12 \pm 2$  mm/min.



*Figura 2.14 Esempio di prova di taglio mediante dinamometro.*

Dal software del dinamometro si ricava la curva sforzo-corsa traversa ed il carico di rottura.

## **2.4 Preparazione dei provini per analisi densimetriche**

Le analisi densimetriche sono state svolte solo sull'adesivo Simson ISR 70-08 AP.

La lastra di adesivo da cui si ricavano i provini è preparata allo stesso modo con cui si prepara la lastra per i provini a doppia T descritto nel "Paragrafo 2.2.1".

Per queste analisi la lastra di adesivo è lasciata reticolare per 168 h alla temperatura di  $296 \pm 5$  K con umidità relativa compresa tra il 45-70%. Dopo di che, mediante la fustellatrice, si ottengono i provini di forma quadrata con lato pari a  $2 \pm 0,2$  cm e spessore variabile tra 1 – 4 mm.

## **2.5 Procedura analisi densimetriche**

Lo scopo di questa analisi è quello di valutare la variazione di volume e di massa del provino. Trascorse le 168 h necessarie per la completa polimerizzazione si effettua una prima misura di massa e volume del provino.

La misura viene effettuata sfruttando il principio di Archimede: ogni corpo immerso in un fluido (liquido o gas) riceve una spinta verticale dal basso verso l'alto, uguale per intensità al peso del volume del fluido spostato.

Si utilizza una bilancia tecnica idrostatica in cui si fissa il provino mediante un ago all'interno della bilancia e si determina la sua massa. Successivamente il piattello su cui è posto un becher con 500 ml di acqua distillata è sollevato ed il provino viene completamente immerso. Si pesa il provino mentre è immerso nell'acqua.

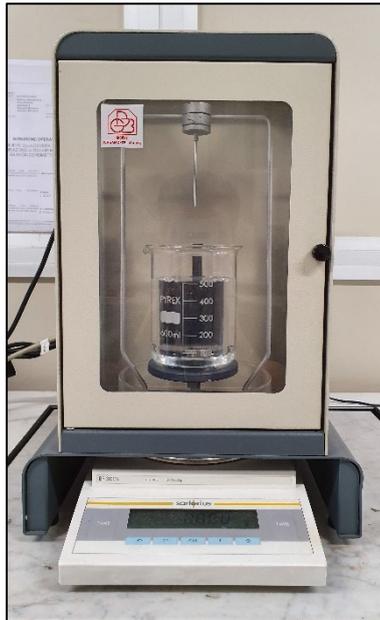


Figura 2.15 Bilancia tecnica idrostatica.

Dalla differenza tra il peso del provino in aria e quello del provino in acqua fornisce il peso del volume di acqua spostata, e conoscendo la densità dell'acqua distillata si ricava la misura del volume di provino, "Equazione 2.1".

$$\rho = \frac{m_1 \cdot \rho_l}{m_1 - m_2} \quad (2.1)$$

Dove:  $\rho$  = densità del provino ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $\rho_l$  = densità dell'acqua ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $m_1$  = peso del provino in aria (g);  $m_2$  = peso del provino in acqua (g).

Successivamente gli stessi provini vengono immersi nel liquido lavavetri NLA/FF per un tempo pari a 24 h. Dopo di che si effettua nuovamente la misura di peso e volume di ogni provino, provvedendo di cambiare l'acqua distillata contenuta nel becher tra una pesata e l'altra per evitare la variazione di densità di quest'ultima.

Infine, i provini vengono posti in stufa per 12 h a 353 K e successivamente pesati.



### 3 Prove sperimentali

Le prove sperimentali sono state condotte analizzando un numero di provini pari a 5 per ogni condizione di prova (“Figura 2.12”).

In particolare, dall’esecuzione delle prove di trazione si ottengono i valori di forza di trazione applicata e di corsa della traversa che sono diagrammati utilizzando un foglio di calcolo.

In “Figura 3.1” sono rappresentate le curve Forza-Corsa traversa ottenute dai provini a doppia T di adesivo Sikaflex®-250 IF-10 dopo un tempo di reticolazione di 168h.

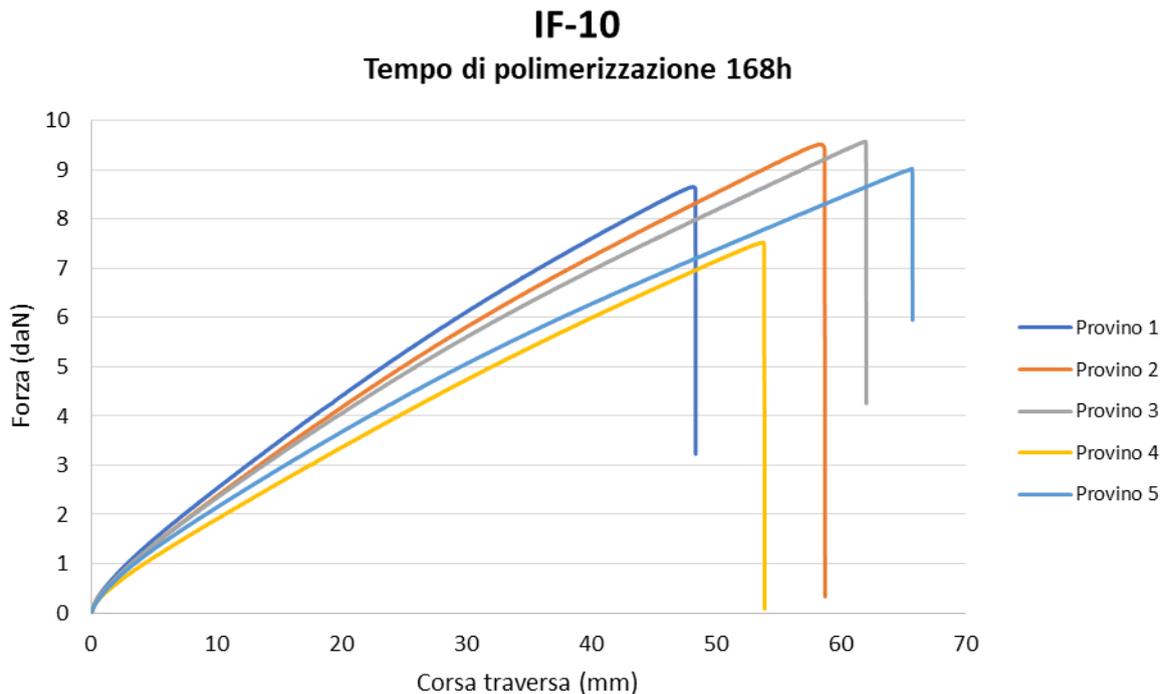


Figura 3.1 Diagramma Forza-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 dopo un tempo di reticolazione di 168h.

Poiché l’area della sezione soggetta alla forza di trazione varia nei provini, allora risulta conveniente esprimere le curve in funzione del carico unitario.

Il carico unitario è definito come il rapporto tra la forza di trazione applicata e l’area della sezione utile dall’adesivo.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (3.1)$$

Dove:  $\sigma$  = carico unitario (MPa),  $F$  = forza di trazione (N),  $S_0$  = sezione iniziale (mm<sup>2</sup>).

In questo modo, si ottengono delle curve Sforzo-Corsa traversa normalizzate rispetto alla sezione da cui risulta più semplice analizzare il comportamento meccanico dei materiali (“Figura 3.2”).

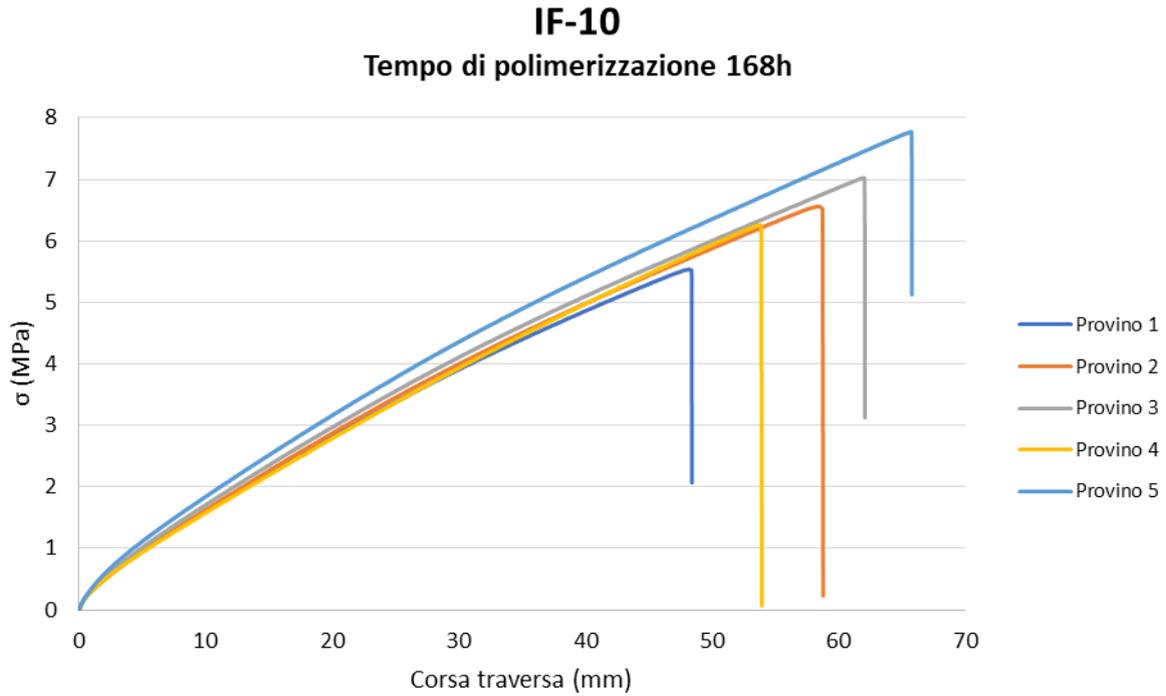


Figura 3.2 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 dopo un tempo di reticolazione di 168h.

In modo equivalente, come si può notare dalla “Figura 3.3” e dalla “Figura 3.4”, è conveniente esprimere le curve in termini di sforzo anche per il Simson ISR 70-08 AP.

Per questo motivo tutti i risultati verranno espressi in termini di carico unitario  $\sigma$  (MPa).

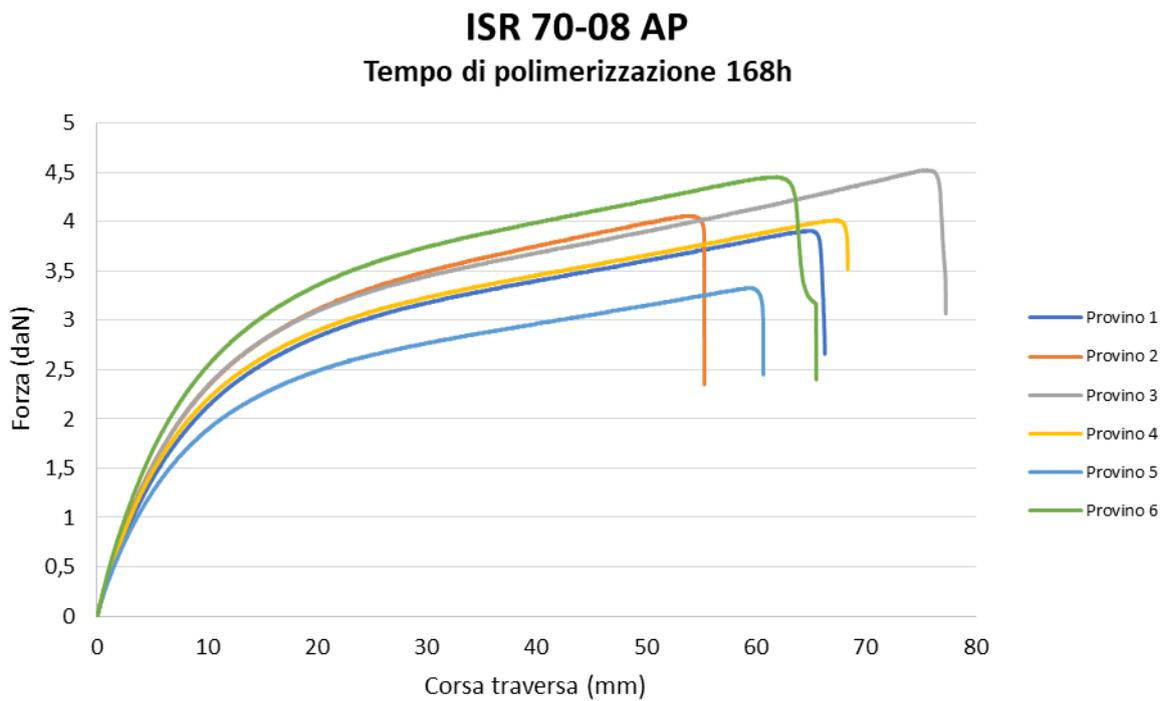


Figura 3.3 Diagramma Forza-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP dopo un tempo di reticolazione di 168h.

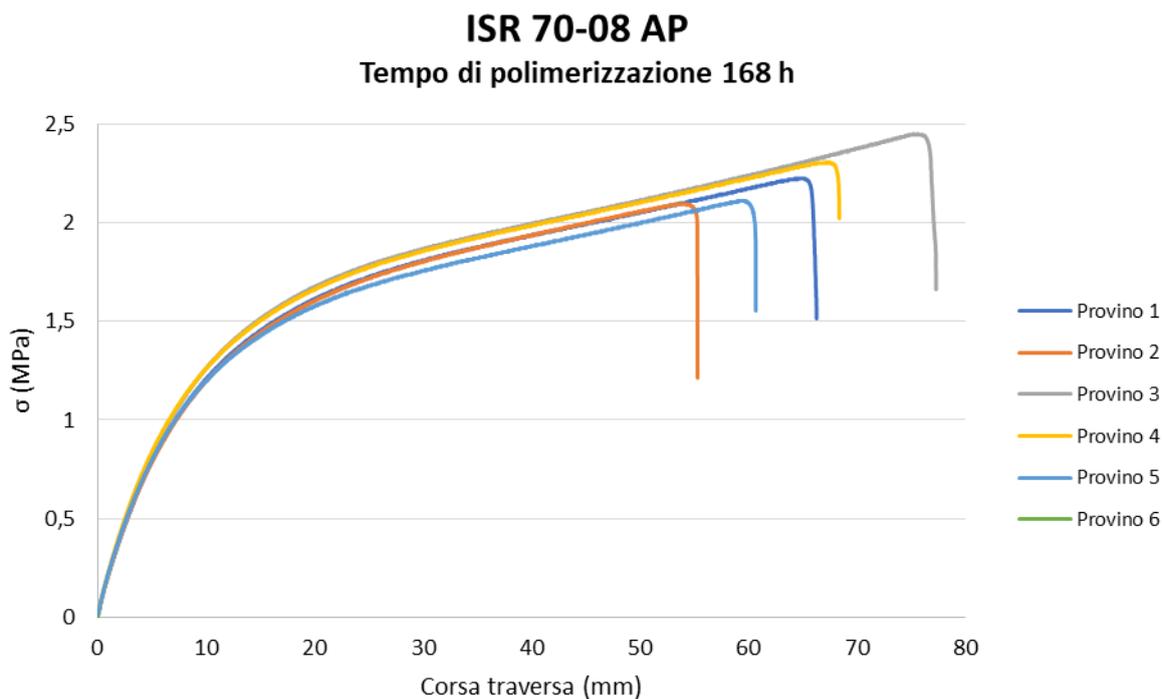


Figura 3.4 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP dopo un tempo di reticolazione di 168h.

### 3.1 Prove di trazione assiale Sikaflex®-250 IF-10

Il primo adesivo esaminato è il Sikaflex®-250 IF-10, il quale presenta un comportamento elastico, ovvero vi è una proporzionalità tra il carico applicato e l'allungamento del provino ("Figura 3.5").

La pendenza della curva rappresenta il valore del modulo elastico E.

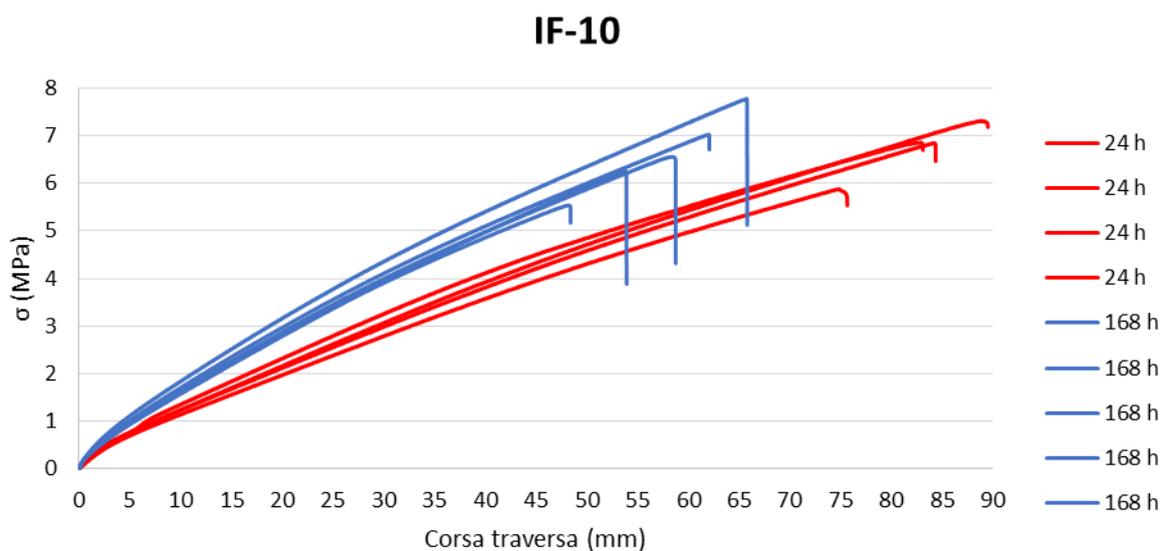


Figura 3.5 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 in funzione del tempo di reticolazione.

Il materiale che ha reticolato completamente (168 h) ha un allungamento a rottura minore rispetto a quello che ha reticolato per 24 h, tuttavia presenta un modulo elastico maggiore.

Tabella 3.1 Carico di rottura ( $R_m$ ) del Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 in funzione del tempo di reticolazione.

Tempo di polimerizzazione (h)	$R_m$ (MPa)	Deviazione standard ( $\sigma$ )
24	6,8	0,57
168	6,6	0,78

Questo comportamento può essere spiegato dall'aumento del grado di reticolazione nell'adesivo infatti, le catene fissandosi tra di loro riducono la capacità di scorrimento dell'adesivo ma ne aumentano la rigidità.

Proprio come ci si aspetta, dato il comportamento meccanico dell'adesivo, il provino dopo la rottura non presenta alcuna strizione nella zona di rottura ("Figura 3.6").



Figura 3.6 Esempio di rottura del provino a doppia T di adesivo Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10.

### 3.1.1 Tempo di reticolazione 24 h

In questa sezione è analizzato il comportamento dei provini che hanno reticolato per un tempo pari a 24 h.

Dalla "Figura 3.7" si può osservare che l'adesivo immerso nel liquido lavavetri NLA/FF, per un tempo pari ad 1 h, riesce a sopportare un carico minore rispetto al provino a nuovo. Anche l'allungamento risulta leggermente inferiore.

I provini sottoposti ad immersione e successivamente ai cicli termici presentano caratteristiche meccaniche confrontabili con i provini a nuovo: uguale allungamento e carico di rottura.

Infine, se i provini vengono immersi una seconda volta questi assumono caratteristiche paragonabili ai provini sottoposti ad una sola immersione infatti, le curve si sovrappongono.

**IF-10**  
**Tempo di reticolazione 24h**

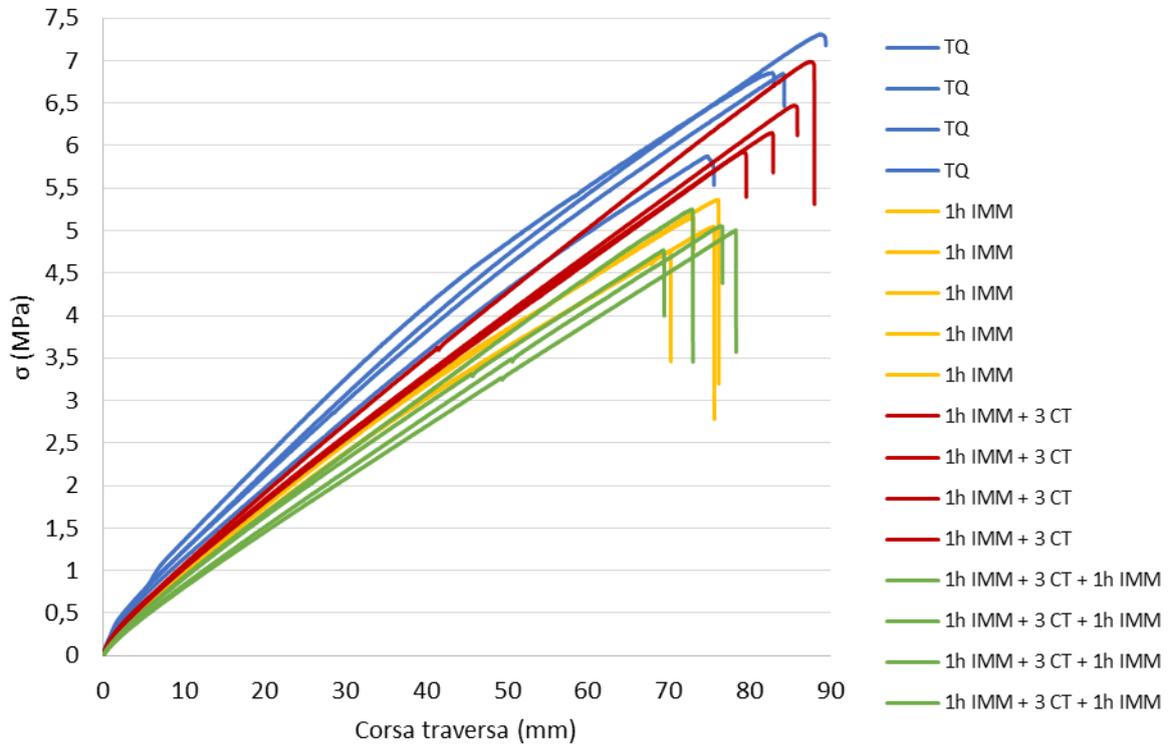


Figura 3.7 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Gli effetti negativi dell'immersione nel liquido lavavetri NLA/FF si notano in misura maggiore se si prolunga il tempo di immersione dei provini fino a 24 h. Infatti, i provini presentano un allungamento ed un carico di rottura nettamente inferiore, circa la metà rispetto ai valori ottenuti con i provini a nuovo. Anche in questo caso si può notare che i cicli termici annullano gli effetti della prima immersione.

## IF-10 Tempo di reticolazione 24h

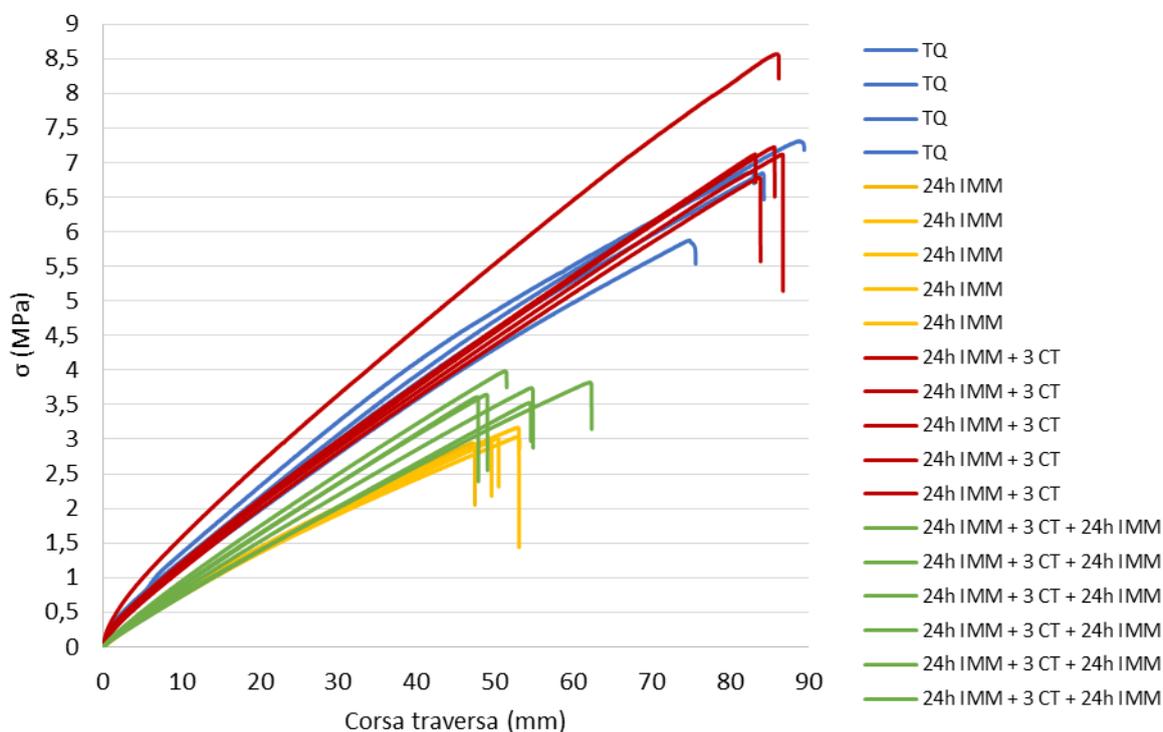


Figura 3.8 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Dai risultati ottenuti si evince che il materiale non è stato danneggiato nelle diverse fasi di invecchiamento. Infatti, i cicli termici hanno annullato l'effetto della prima immersione e riportato i materiali al comportamento originale. Mentre le immersioni, anche se ripetute, influiscono sul materiale allo stesso modo. Quindi si può ipotizzare solo un effetto fisico sull'adesivo dovuto all'adsorbimento del liquido nella matrice del polimero.

Tabella 3.2 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex®-250 IF-10 nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	6,8	0,57
1h IMM	5,1	0,17
1h IMM + 3 CT	6,4	0,45
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	5,0	0,10
24h IMM	3,1	0,06
24h IMM + 3 CT	7,4	0,59
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	3,8	0,18

Per poter analizzare al meglio gli effetti dei cicli termici si è deciso di effettuare ulteriori prove in cui il materiale dopo 1 h di immersione è stato posto in un forno ad una temperatura di 353 K per un tempo pari a 12 h.

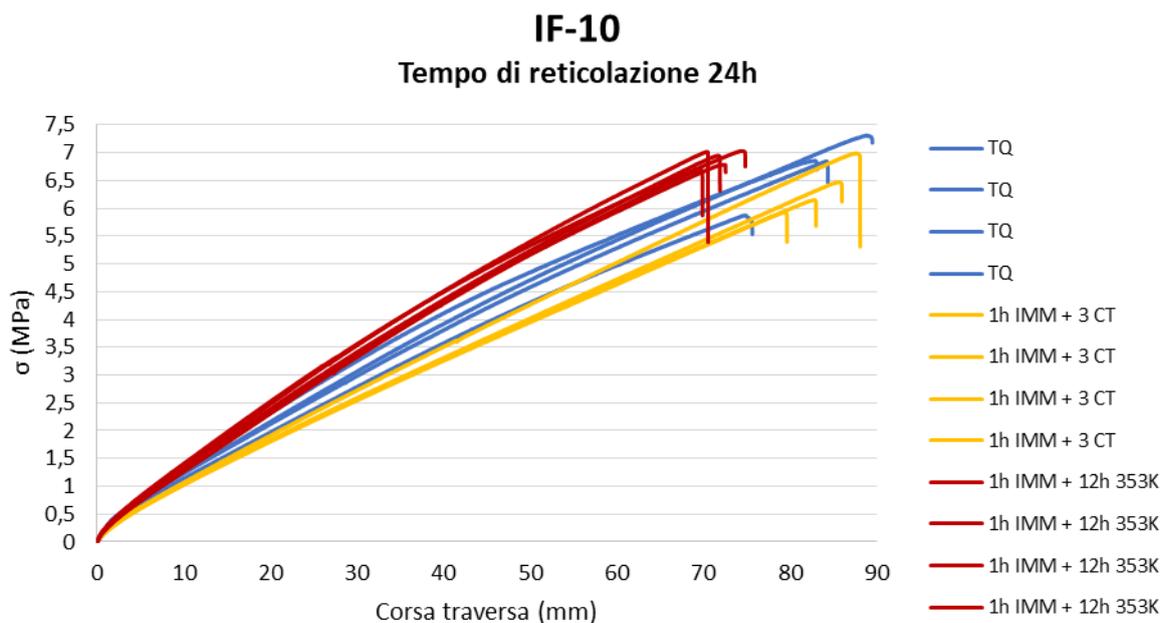


Figura 3.9 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h, confronto con provini invecchiati a caldo (353 K).

Si nota che, anche eliminando le fasi di caldo umido e di freddo dal ciclo termico, il comportamento rimane paragonabile alle prove già svolte. Quindi la fase calda all'interno dei cicli termici è quella che permette l'evaporazione del liquido che è stato adsorbito dal materiale, riportando il comportamento del provino alle condizioni originali.

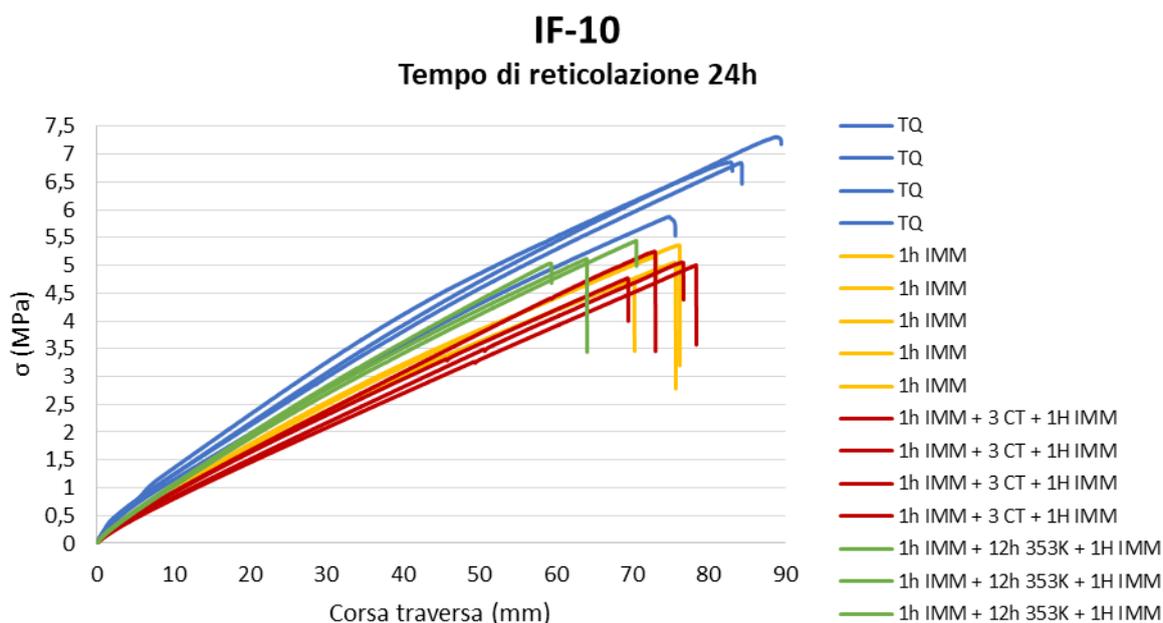


Figura 3.10 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h, confronto con provini invecchiati a caldo (353 K).

Tabella 3.3 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex®-250 IF-10, confronto con le prove a caldo (353 K).

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	6,8	0,57
1h IMM + 3 CT	6,4	0,45
1h IMM + 12h 80 °C	6,9	0,13
1h IMM	5,1	0,17
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	5,0	0,10
1h IMM + 12h 80°C + 1h IMM	5,2	0,24

### 3.1.2 Tempo di reticolazione 168 h

Nella “Figura 3.11” vengo rappresentate le prove di trazione dei provini che sono stati sottoposti ad invecchiamenti che includevano una o due immersioni per un tempo pari ad 1 h.

Anche in questo caso, i provini immersi una sola volta e quelli immersi dopo i tre cicli termici presentano un carico di rottura minore rispetto al provino a nuovo.

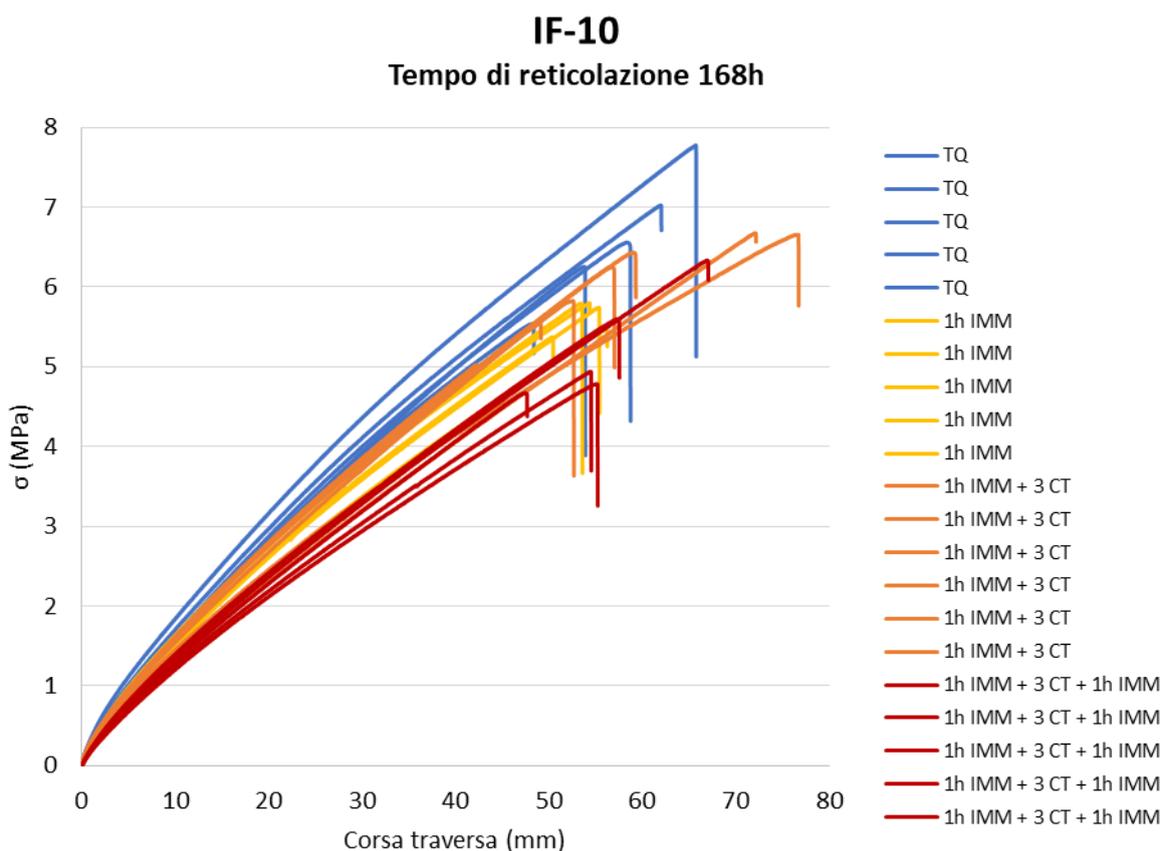


Figura 3.11 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Gli effetti dell’immersione si possono notare in maggior misura negli invecchiamenti che prevedono un’immersione di 24 h.

In queste prove possiamo notare che i provini che hanno subito i cicli termici hanno delle caratteristiche leggermente migliori rispetto a quelli che non li hanno subito. Quindi i provini che sono stati immersi per 24 h e successivamente invecchiati con i cicli termici presentano un allungamento e un carico a rottura nettamente maggiore rispetto al provino a nuovo. Si osserva lo stesso comportamento per i provini che sono stati immersi per 24 h dopo i cicli termici rispetto a quelli che sono stati immersi per 24 h una volta sola.

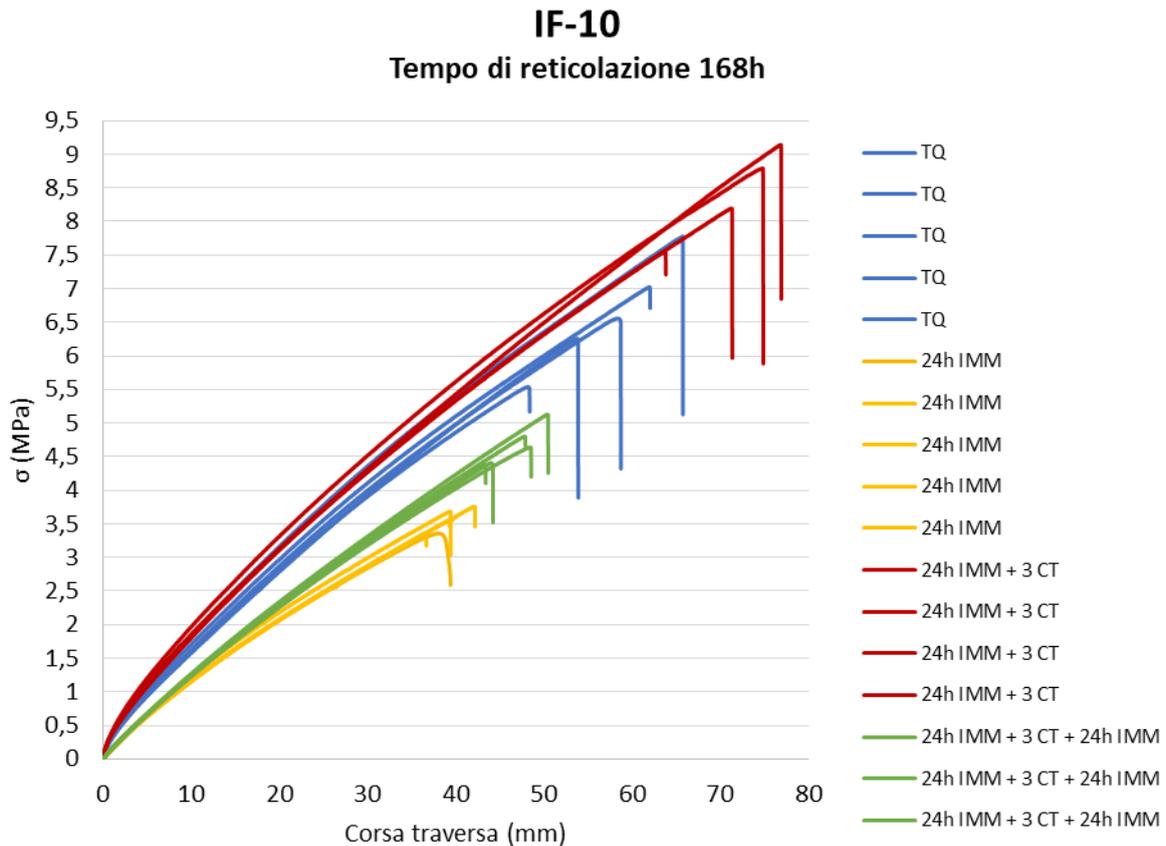


Figura 3.12 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.4 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex®-250 IF-10 nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	6,6	0,78
1h IMM	5,6	0,20
1h IMM + 3 CT	6,2	0,42
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	5,3	0,57
24h IMM	3,5	0,17
24h IMM + 3 CT	8,4	0,54
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	4,6	0,27

### 3.2 Prove di taglio Sikaflex®-250 IF-10

All'aumentare del tempo di reticolazione dell'adesivo si ottiene un incremento del carico di rottura.

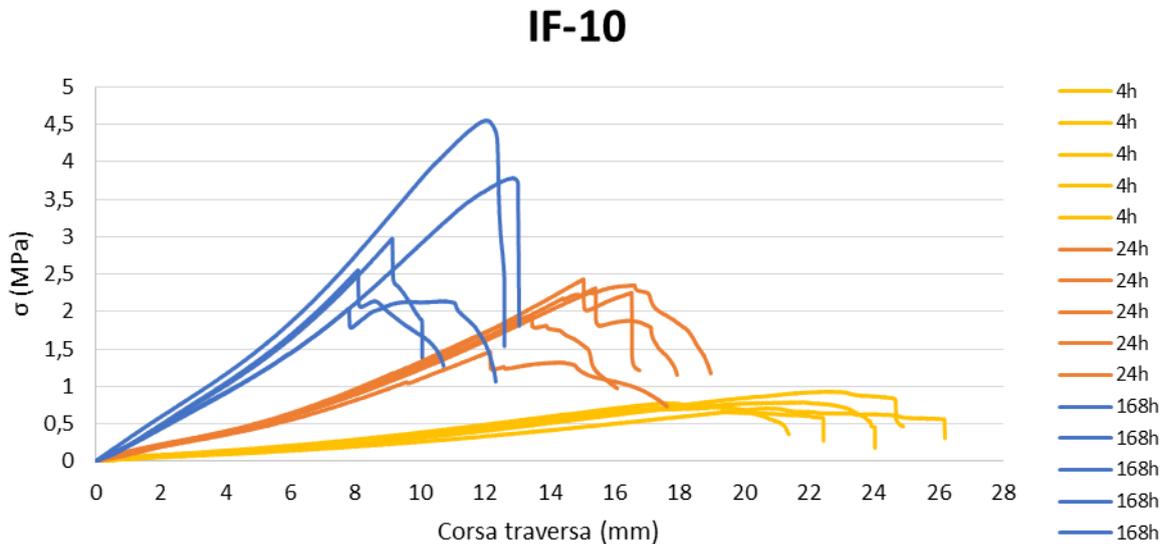


Figura 3.13 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 in funzione del tempo di reticolazione.

Tabella 3.5 Carico di rottura ( $R_m$ ) del Sikaflex®-250 IF-10 in funzione del tempo di reticolazione.

Tempo di reticolazione (h)	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
4	0,8	0,08
24	2,1	0,36
168	3,2	0,87

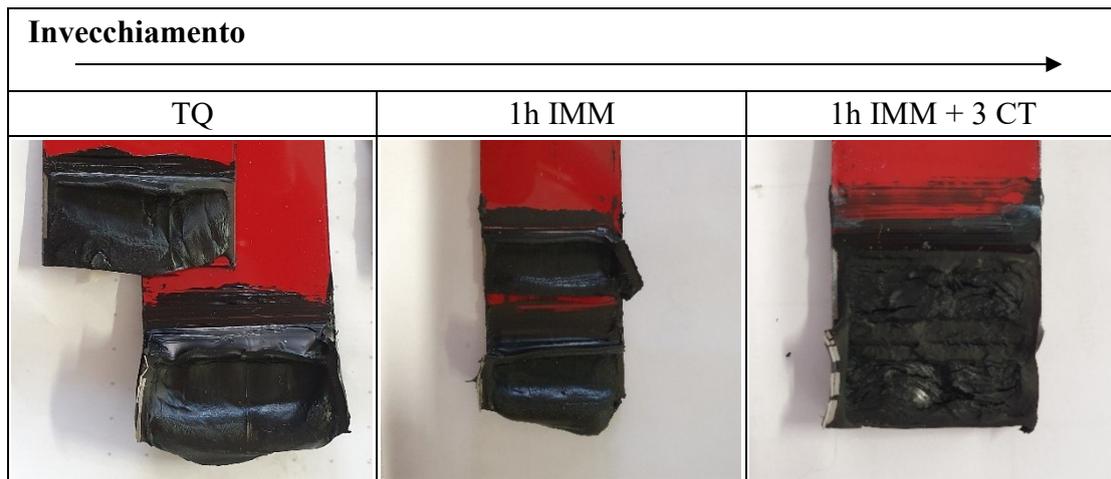
#### 3.2.1 Tempo di reticolazione 4 h

Il materiale a nuovo e quello che è stato immerso per 1 h hanno lo stesso comportamento meccanico. I provini che dopo la prima immersione sono invecchiati tramite cicli termici hanno un comportamento meccanico migliore, poiché riescono a sopportare un carico di taglio maggiore.

Il provino a nuovo presenta una sottile pelle (adesivo polimerizzato) lungo il perimetro in cui l'adesivo è a diretto contatto con l'atmosfera, mentre la restante parte dell'adesivo si presenta in forma pastosa. Dopo le immersioni lo spessore della pelle aumenta ed infine, dopo i cicli termici l'intero provino si trova in forma solida. Questo è dovuto al fatto che l'adesivo ha la possibilità di continuare il processo di reticolazione grazie all'umidità presente nella fase caldo umido dei cicli termici.

L'aumento del grado di polimerizzazione incrementa le caratteristiche meccaniche dell'adesivo. In ogni provino comunque si riscontra un distacco di tipo coesivo dell'adesivo.

Tabella 3.6 Stato dei provini dopo la prova di trazione dell'adesivo Sikaflex®-250 IF-10 nelle diverse condizioni di prova.



I provini che hanno subito la seconda immersione di 1 h presentano delle caratteristiche meccaniche simili ai provini sottoposti ad una sola immersione e successivamente ai cicli termici. Quindi si può ipotizzare che in così poco tempo e data la scarsa superficie laterale di contatto, si ha un adsorbimento limitato del liquido NLA/FF.

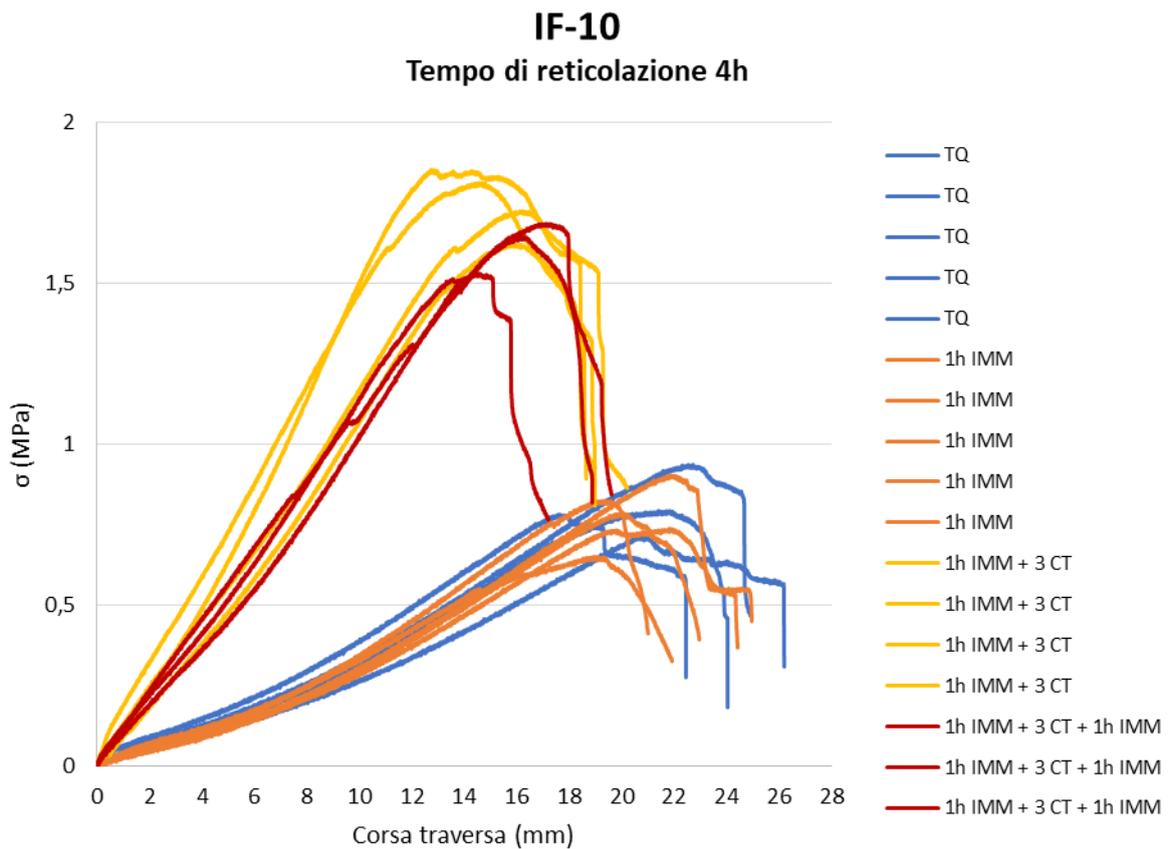


Figura 3.14 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 4h in funzione delle differenti condizioni di prova.

I provini che includono negli invecchiamenti l'immersione di 24 h nel liquido lavavetri hanno caratteristiche meccaniche migliori rispetto al provino a nuovo, dovute al fatto che il materiale presenta un maggiore grado di reticolazione.

Si nota che la seconda immersione svolta dopo i cicli termici ne diminuisce il carico di rottura. Il distacco in queste prove è di tipo coesivo dell'adesivo.

### IF-10 Tempo di reticolazione 4h

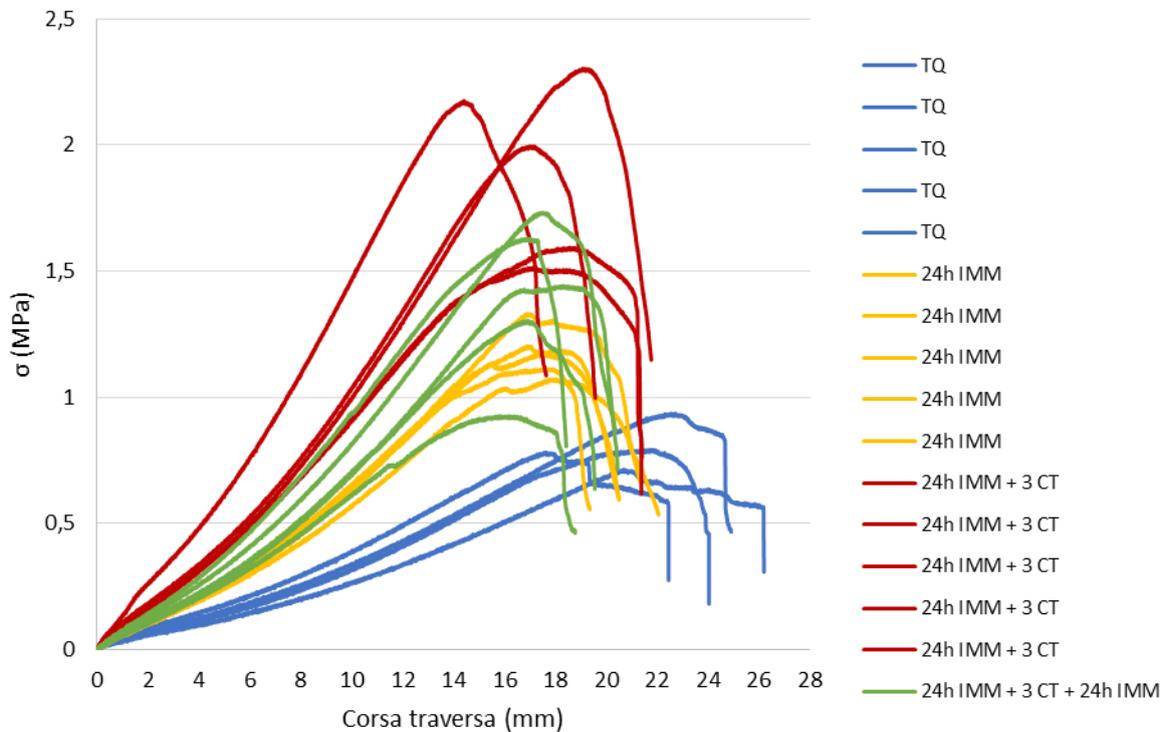


Figura 3.15 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 4h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.7 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Sikaflex®-250 IF-10 nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	0,8	0,08
1h IMM	0,8	0,08
1h IMM + 3 CT	1,8	0,09
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	1,6	0,07
24h IMM	1,2	0,09
24h IMM + 3 CT	1,9	0,31
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	1,4	0,28

### 3.2.2 Tempo di reticolazione 24 h

Anche nel caso dei provini che hanno reticolato per 24 h, l'immersione di 1 h nel liquido non va ad influenzare il comportamento dei provini. Invece i provini che sono stati sottoposti ai cicli termici hanno caratteristiche migliori imputabili al fatto che il grado di reticolazione è aumentato.

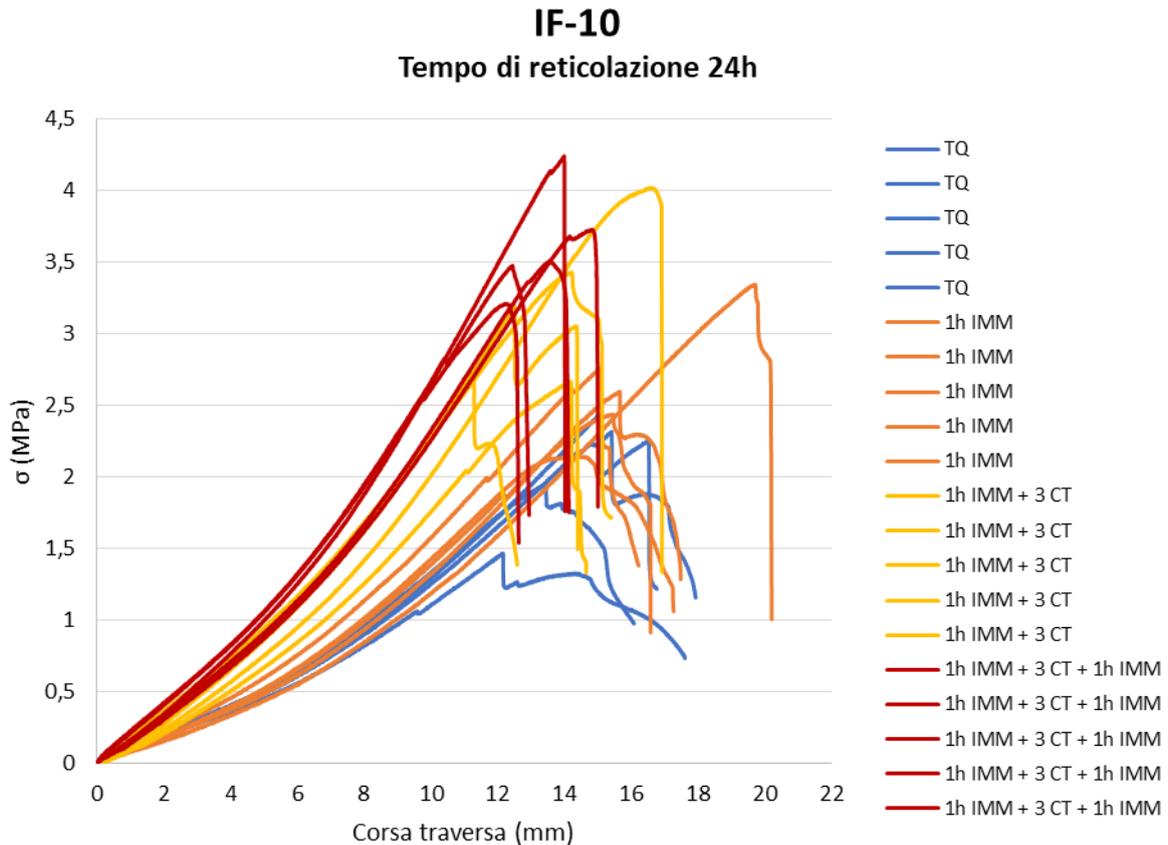


Figura 3.16 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

I provini sottoposti a 24 h di immersione presentano un carico di rottura minore rispetto al provino a nuovo.

I provini che dopo l'immersione sono sottoposti ai cicli termici presentano carichi di rottura più elevati. Invece quelli che dopo i cicli subiscono una seconda immersione di 24 h hanno un comportamento intermedio tra quelli che hanno subito una sola immersione e quelli che hanno subito immersione più cicli termici. Si può ipotizzare che i cicli termici abbiano aiutato la reticolazione ma, la seconda immersione è andata comunque ad invalidarne il comportamento.

## IF-10 Tempo di reticolazione 24h

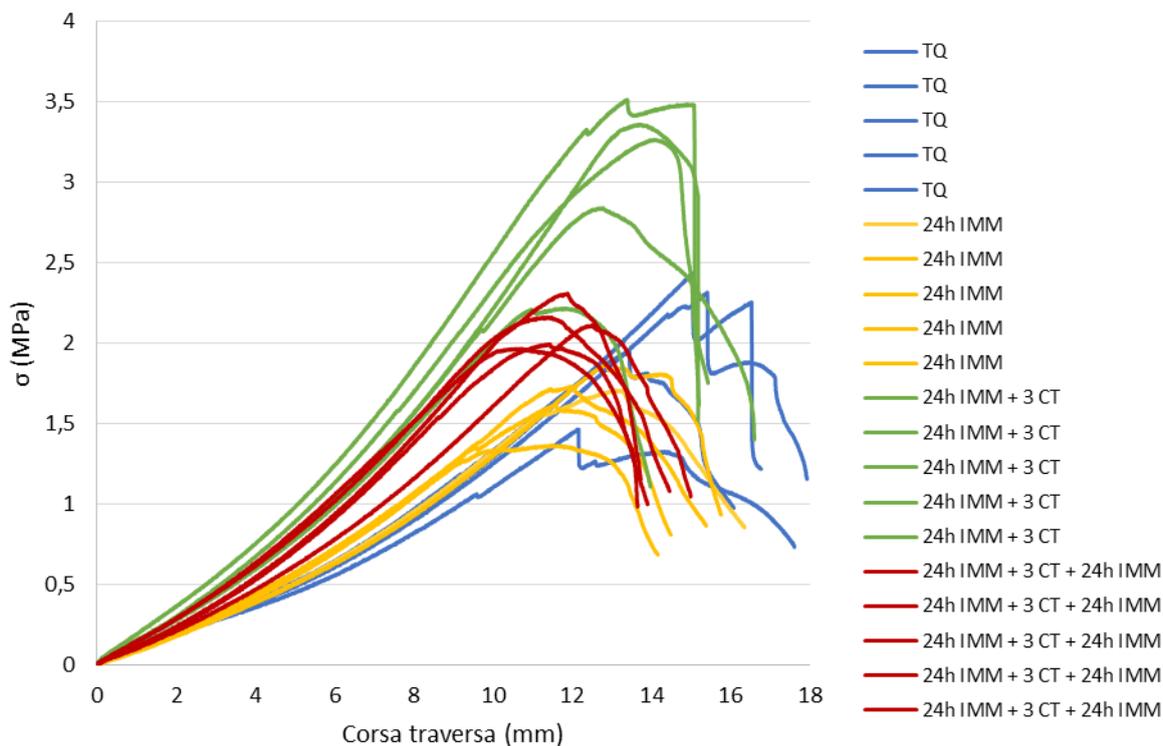


Figura 3.17 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Le prove di taglio di tutti i provini che hanno reticolato per 24 h presentano distacco coesivo dell'adesivo.

Tabella 3.8 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Sikaflex®-250 IF-10 nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	2,1	0,36
1h IMM	2,7	0,40
1h IMM + 3 CT	3,2	0,49
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	3,6	0,35
24h IMM	1,7	0,17
24h IMM + 3 CT	3,2	0,49
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	2,1	0,12

### 3.2.3 Tempo di reticolazione 168 h

I provini che hanno reticolato 168 h e che hanno subito all'interno dell'invecchiamento 1 h di immersione hanno delle caratteristiche simili.

In tutte le prove si riscontra un distacco coesivo dell'adesivo.



Figura 3.18 Distacco coesivo dell'adesivo Sikaflex®-250 IF-10.

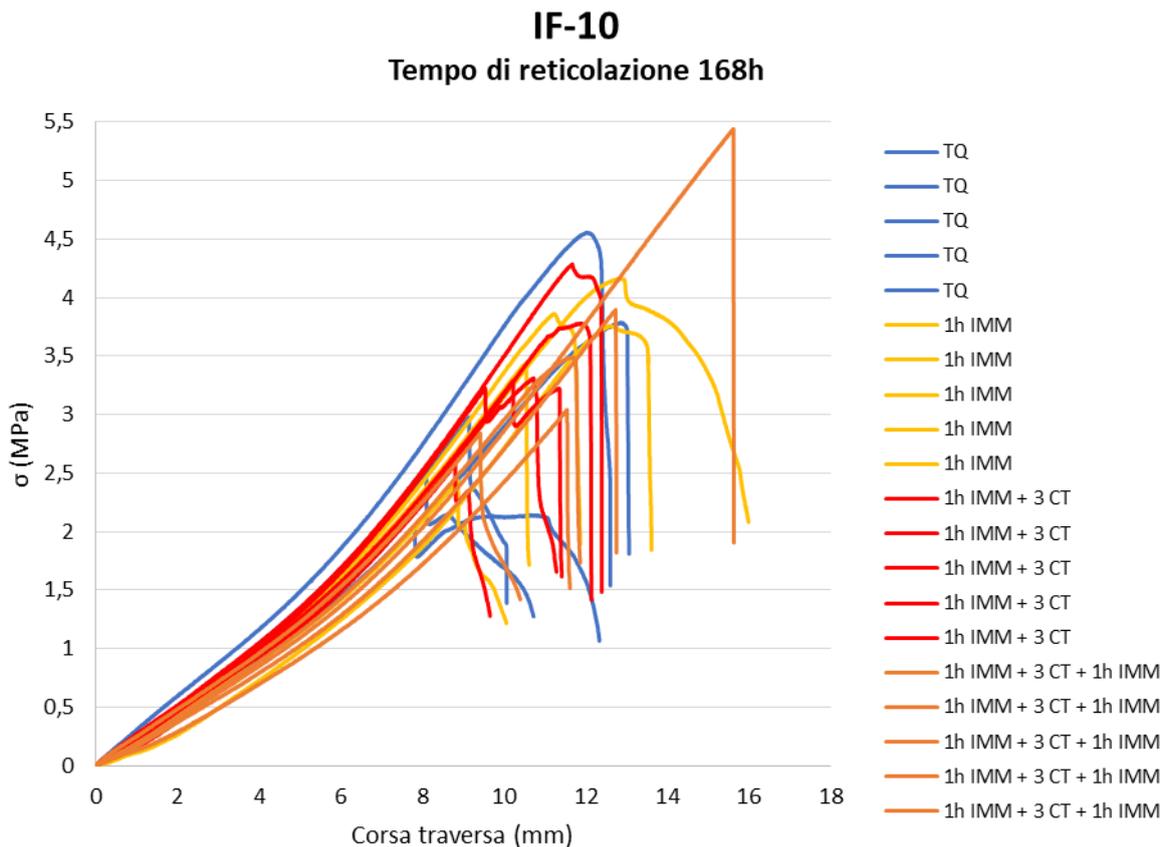


Figura 3.19 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Le cose cambiano quando i provini sono immersi per 24 h, in questo caso si può notare una diminuzione del carico di rottura. I provini sottoposti ai cicli termici dopo la prima immersione presentano carichi di rottura simili ai provini a nuovo.

## IF-10

### Tempo di reticolazione 168h

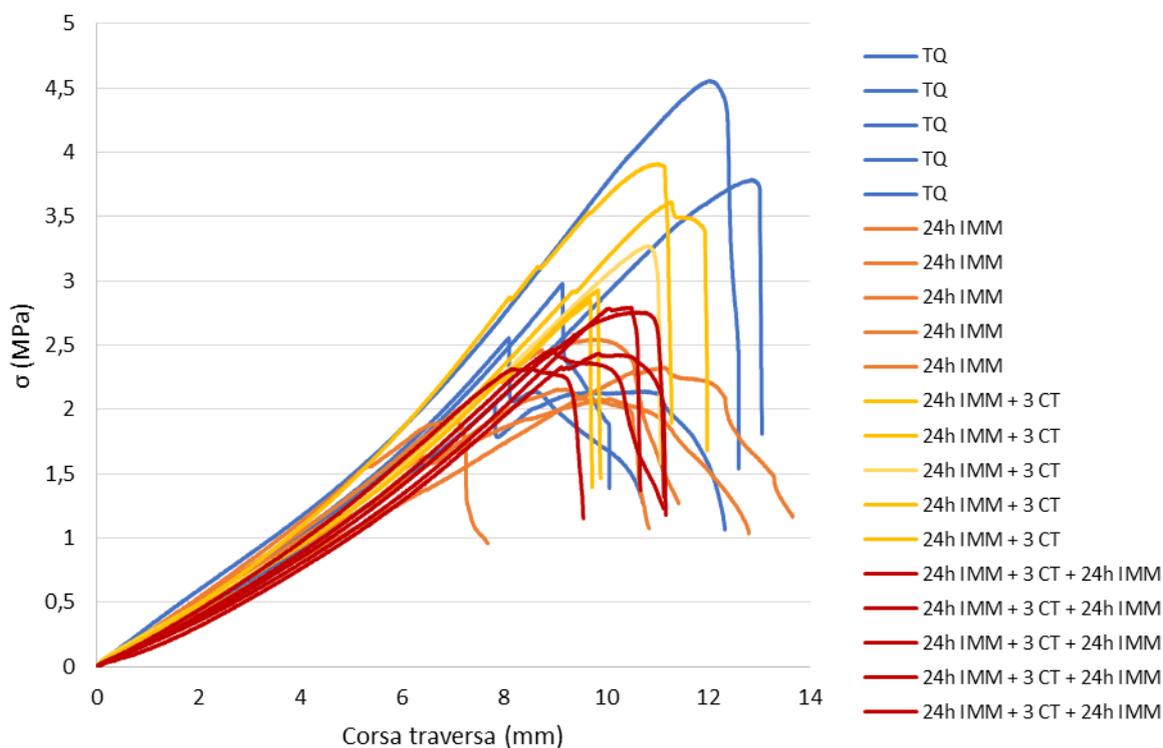


Figura 3.20 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Sikaflex®-250 IF-10 che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.9 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Sikaflex®-250 IF-10 nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	3,2	0,87
1h IMM	3,5	0,59
1h IMM + 3 CT	3,4	0,57
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	3,7	0,92
24h IMM	2,2	0,22
24h IMM + 3 CT	3,3	0,40
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	2,6	0,19

### 3.1 Prove di trazione assiale Simson ISR 70-08 AP

L'adesivo Simson ISR 70-08 AP presenta un comportamento decisamente differente rispetto al Sikaflex®-250 IF-10. Infatti, si nota una prima fase in cui il materiale ha un comportamento elastico ed una successiva fase con un comportamento plastico dell'adesivo. Proprio per questo i provini presentano una strizione della sezione di rottura ("Figura 3.21"). Infine, lo snervamento in questo materiale non è evidente.

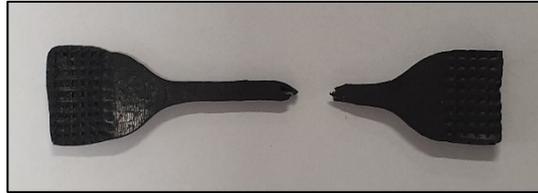


Figura 3.21 Esempio di rottura del provino a doppia T di adesivo Simson ISR 70-08 AP.

Aumentando il tempo di reticolazione aumenta il carico applicabile e l'allungamento del provino.

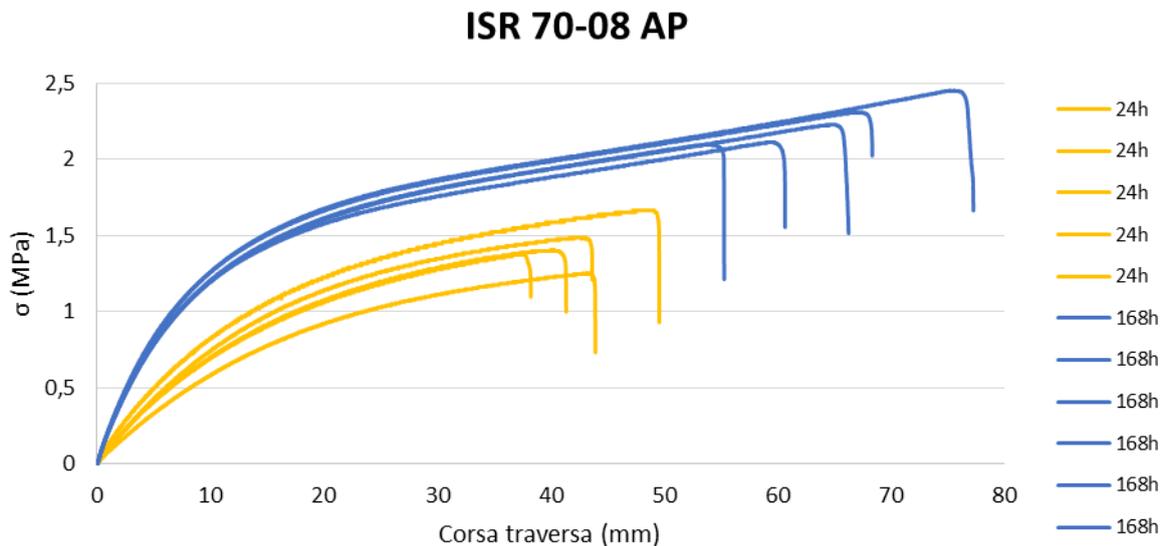


Figura 3.22 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP in funzione del tempo di reticolazione.

Tabella 3.10 Carico di rottura ( $R_m$ ) del Simson ISR 70-08 AP in funzione del tempo di reticolazione.

Tempo di reticolazione (h)	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
24	1,4	0,13
168	2,3	0,14

#### 3.1.1 Tempo di reticolazione 24 h

Il provino che è stato immerso per 1 h nel liquido lavavetri presenta il carico più basso. Il provino che è stato sottoposto a immersione e successivamente ai cicli termici ha un comportamento simile al provino a nuovo ma con un tratto plastico più lungo. I provini che sono stati sottoposti alle due immersioni e ai cicli termici presentano l'allungamento maggiore.

## ISR 70-08 AP Tempo di polimerizzazione 24h

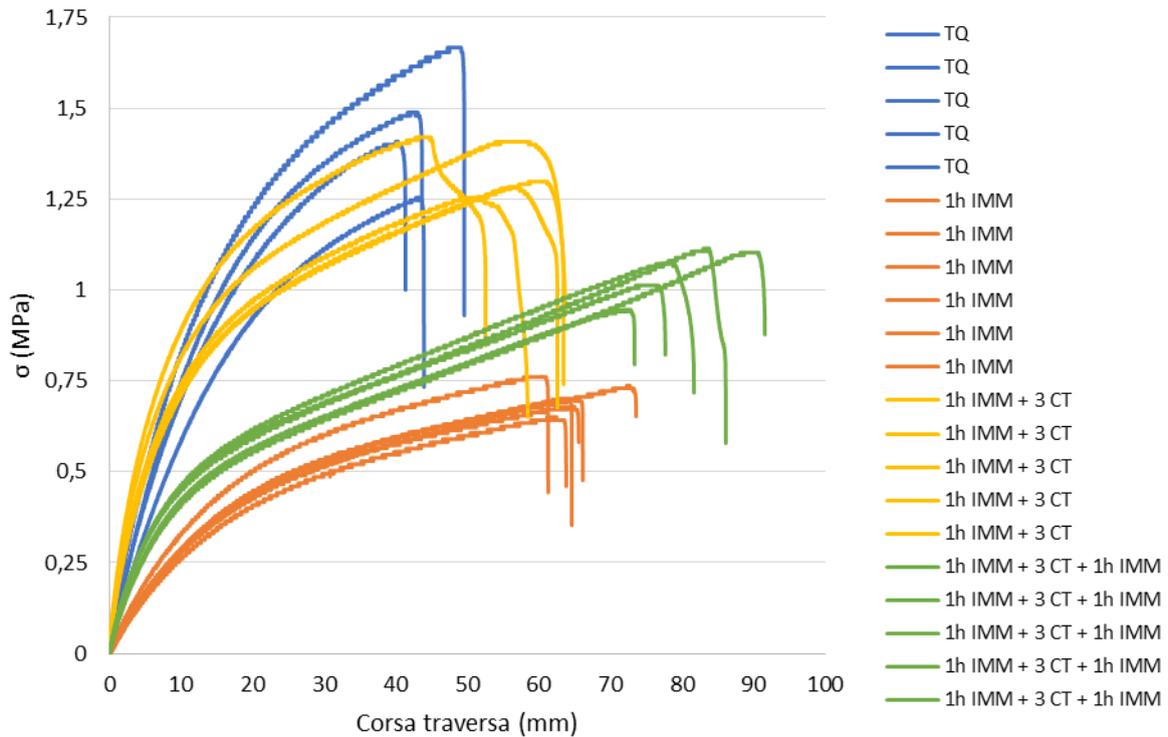


Figura 3.23 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Le prove che prevedono l'immersione di 24 h non sono state effettuate poiché i provini risultano danneggiati dall'immersione. Durante la prova i provini aumentano di volume e tirandoli fuori dal bagno si rompono lasciando il liquido torbido e con del residuo sul fondo, "Figura 3.24".



Figura 3.24 Provini di adesivo Simson ISR 70-08 AP dopo immersione di 24h nel liquido lavavetri NLA/FF

Tabella 3.11 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Simson ISR 70-08 AP nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	1,4	0,13
1h IMM	0,7	0,02
1h IMM + 3 CT	1,3	0,06
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	1,1	0,06

Dati questi risultati si effettuano delle prove di trazione dopo l'immersione in acqua distillata. Quindi il provino dopo aver reticolato per 24 h è stato immerso per 1 h o per 24 h in acqua distillata.

In questo caso il provino presenta lo stesso carico di rottura dei provini a nuovo, ma ha un allungamento a rottura del provino che cresce con l'aumentare del tempo di immersione in acqua distillata.

Invece è necessaria solo 1 h di immersione nel liquido lavavetri per ridurre drasticamente, circa la metà, il carico di rottura rispetto al provino a nuovo. Quindi la diminuzione delle caratteristiche meccaniche del provino è imputabile alla parte alcolica del liquido.

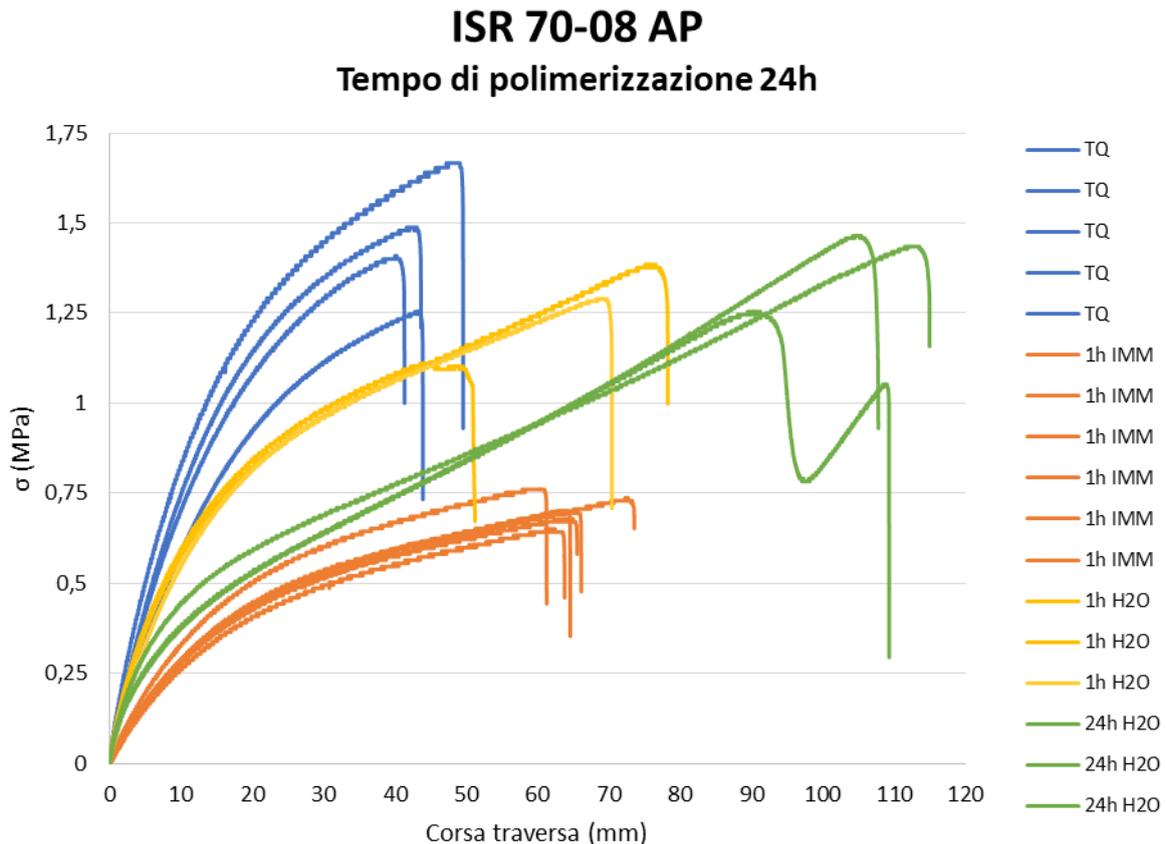


Figura 3.25 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 24h, confronto con provini invecchiati in immersione nell'acqua distillata.

Tabella 3.12 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex®-250 IF-10, confronto con le prove di immersione in acqua distillata.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	1,4	0,13
1h IMM	0,7	0,02
24h TA + 1h H2O	1,3	0,12
24h TA + 24h H2O	1,4	0,10

### 3.1.2 Tempo di reticolazione 168 h

I provini che sono sottoposti ad invecchiamenti che prevedono immersioni di 1 h hanno un carico minore rispetto al provino a nuovo ed un allungamento maggiore.

I provini, sottoposti ad immersione e successivamente a cicli termici, presentano in media un allungamento minore rispetto ai provini che hanno subito solo immersione e a quelli che hanno subito l'immersione dopo i cicli termici.

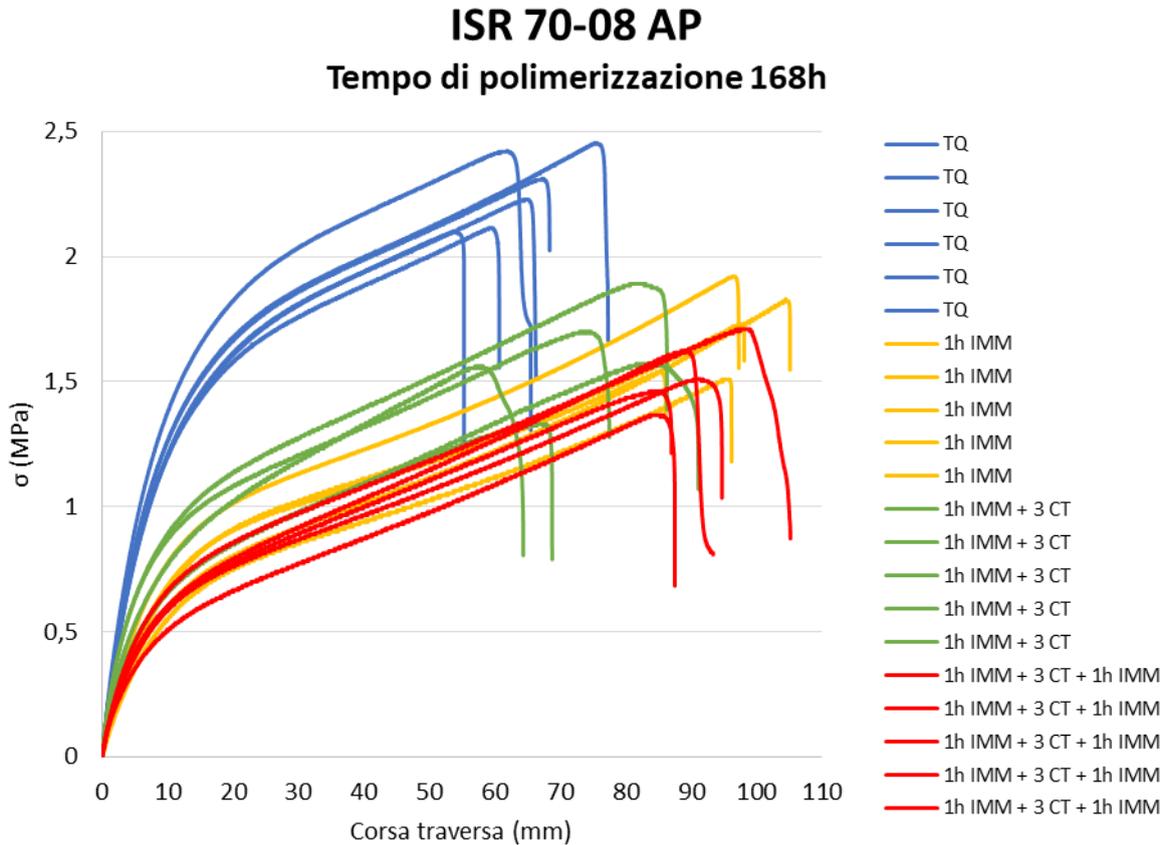


Figura 3.26 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Per quanto riguarda i provini immersi per 24 h nel liquido NLA/FF, questi presentano un carico molto inferiore ed hanno un allungamento minore rispetto al provino a nuovo. Il provino dopo l'immersione ha un volume decisamente maggiore rispetto al campione iniziale ed è per questo motivo che sono state svolte delle analisi densimetriche del provino, in modo da valutare l'aumento di volume.



Figura 3.27 Provino di Simson ISR 70-08 AP prima dell'immersione in basso e dopo 24h di immersione nel liquido NLA/FF in alto.

Nei provini sottoposti ai cicli termici si osserva una riduzione del volume, dovuta al rilascio del liquido adsorbito. In alcuni casi, questa variazione di volume ha causato un danneggiamento del provino, il quale presenta delle bolle al di sotto della superficie.



Figura 3.28 Provino Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 168h, invecchiato 24h in liquido lavavetri NLA/FF e successivamente sottoposto ai tre cicli termici.

Il provino sottoposto ad immersione e successivamente ai cicli termici ha un carico minore rispetto al provino a nuovo ed un allungamento paragonabile con il provino che è stato sottoposto a: immersione, cicli termici ed ulteriore immersione. Quest'ultimo però presenta un carico più basso.

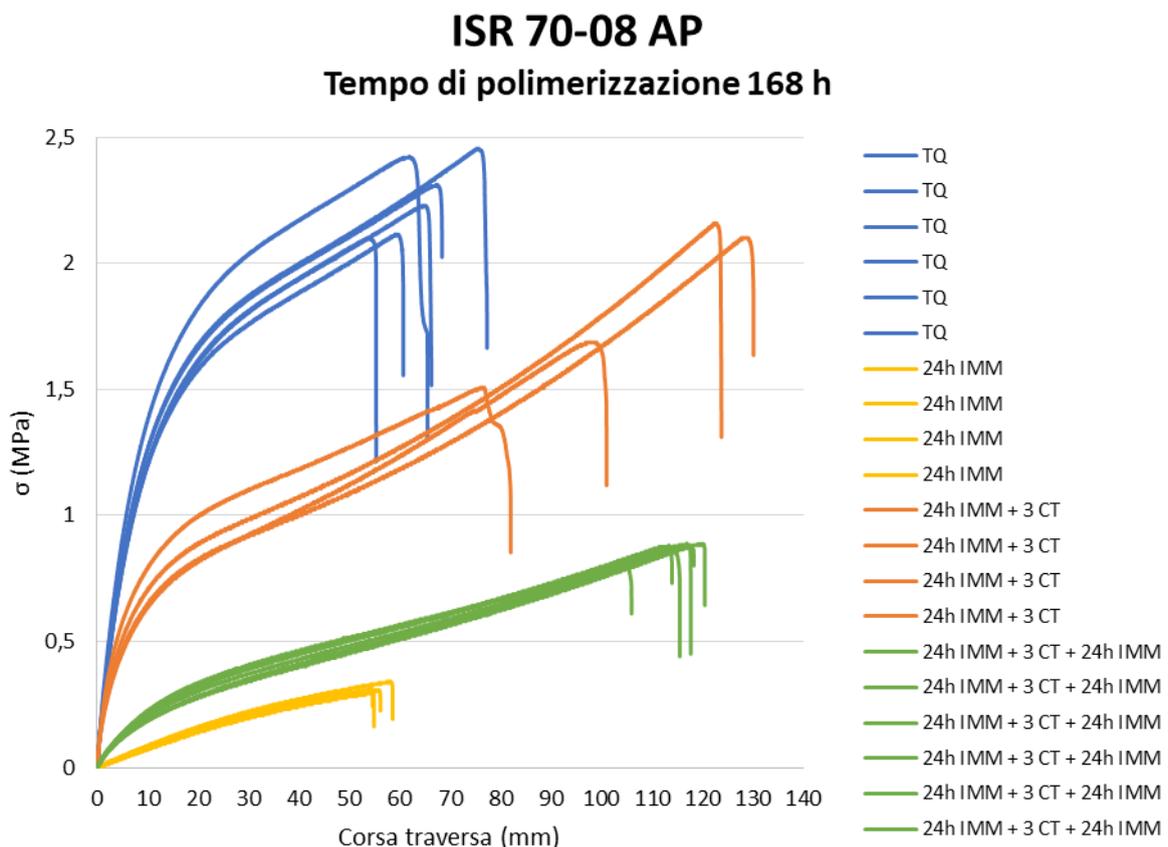


Figura 3.29 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Anche in questo caso, dati i risultati, si provvede ad un confronto con l'immersione dei provini in acqua distillata.

Il provino immerso per 1 h in acqua distillata presenta lo stesso comportamento dei provini a nuovo. Mentre i provini immersi per 24 h assumono un carico a rottura paragonabile al provino a nuovo ma un allungamento uguale ai provini che sono stati immersi per 1 h al liquido lavavetri.

Tabella 3.13 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Simson ISR 70-08 AP nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	2,3	0,14
1h IMM	1,7	0,16
1h IMM + 3 CT	1,6	0,18
1h IMM + 3 CT + 1h IMM	1,5	0,12
24h IMM	0,3	0,01
24h IMM + 3 CT	1,9	0,28
24h IMM + 3 CT + 24h IMM	0,9	0,03

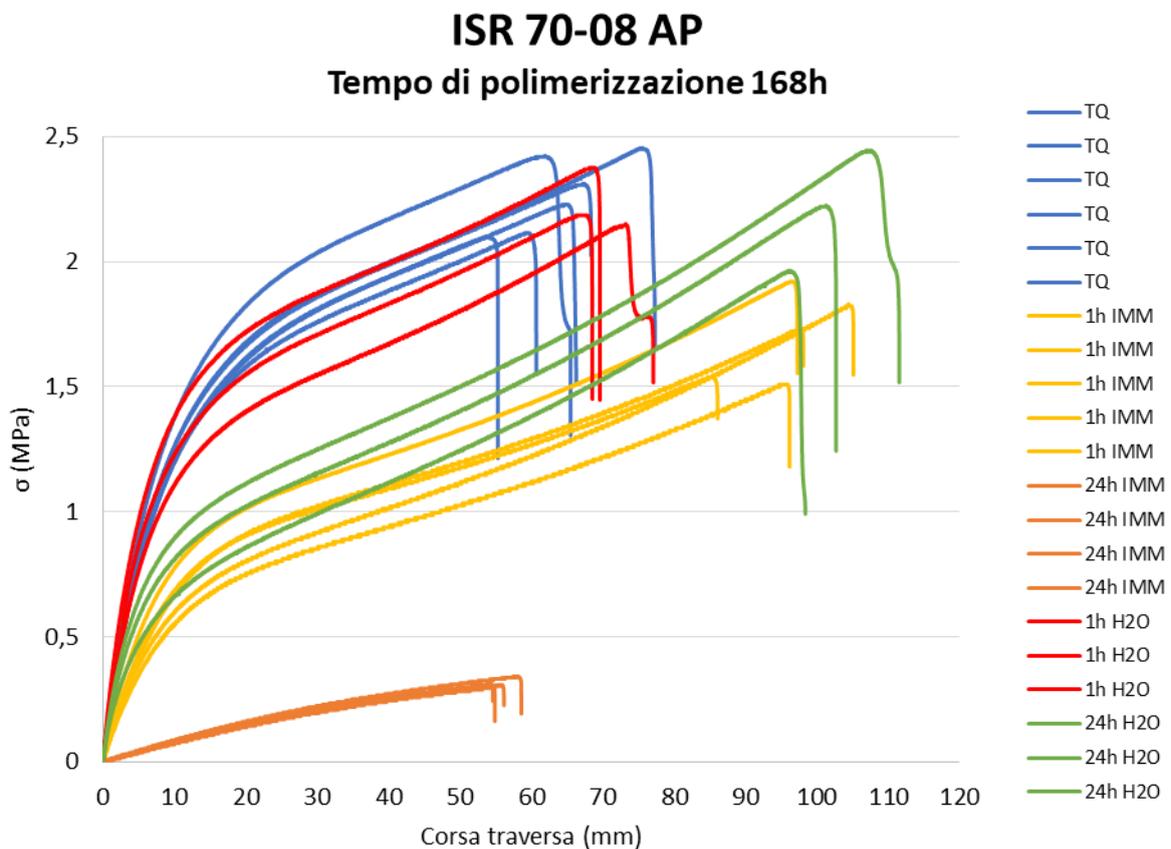


Figura 3.30 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 168h, confronto con provini invecchiati in immersione nell'acqua distillata.

Tabella 3.14 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex®-250 IF-10, confronto con le prove di immersione in acqua distillata.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	2,3	0,14
1h IMM	1,7	0,16
1h H2O	2,3	0,08
24h IMM	0,3	0,01
24h H2O	2,2	0,20

Inoltre, i provini di ISR 70-08 AP, indipendentemente dal tempo di immersione o di reticolazione, dopo la prima fase di caldo all'interno dei cicli termici aderiscono alla superficie sulla quale sono stati poggiati per poter essere inseriti all'interno del forno. Quindi sono state svolte delle prove aggiuntive per valutare l'influenza del tipo di substrato su questo comportamento.



Figura 3.31 Esempio di aspetto dei provino di Simson ISR 70-08 AP riscontrato dopo i cicli termici.

In queste prove i provini che avevano reticolato per 168 h sono stati immersi nel liquido NLA/FF per 24 h. Successivamente sono stati posti in forno a 353 K per 4 h, poggiando i provini su differenti tipi di substrato. In particolare, sono state usate lamine di: alluminio, duralluminio, vetro, acciaio al carbonio, ferro zincato, lamierino verniciato mediante cataforesi, lamierino verniciato con ciclo scocca, carta siliconata.

In tutti i casi il provino aderisce alla superficie quindi si può escludere l'influenza del substrato.

Tabella 3.15 Adesione del Simson ISR 70-08 AP su differenti tipi di substrati.

<p style="text-align: center;"><b>Alluminio</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Duralluminio</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Acciaio al carbonio</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Ferro zincato</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Cataforesi</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Vernice scocca</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Vetro</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Carta siliconata</b></p> 

Infine, si ripete la stessa prova a caldo (353 K per 4 h) su provini a nuovo che avevano reticolato per 168 h. In questo caso, non si nota nessuna adesione dei provini sulla lamina di supporto. Quindi è proprio l'immersione nel liquido NLA/FF a promuovere l'adesione sul substrato.

## 3.2 Prove di taglio Simson ISR 70-08 AP

Il carico di rottura aumenta con l'aumentare del tempo di reticolazione.

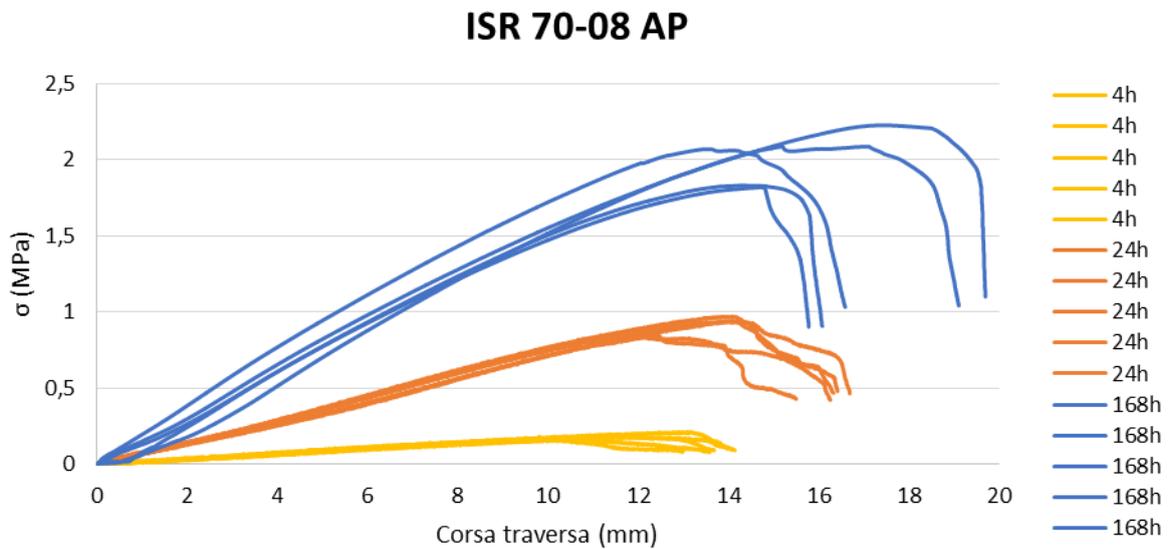


Figura 3.32 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP in funzione del tempo di reticolazione.

Tabella 3.16 Carico di rottura ( $R_m$ ) del Simson ISR 70-08 AP in funzione del tempo di reticolazione.

Tempo di reticolazione (h)	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
4	0,2	0,02
24	0,9	0,05
168	2	0,16

### 3.2.1 Tempo di reticolazione 4 h

I provini a nuovo e quelli che sono sottoposti ad un'immersione di 1 h hanno lo stesso carico di rottura. Dopo la prova di trazione di questi provini si nota che, a differenza di tutti gli altri provini, l'adesivo nella zona a contatto con l'umidità atmosferica sviluppa coesione ma non adesione. Infatti, si osserva che in una delle due lamine di metallo il bordo esterno è privo di residui di adesivo.

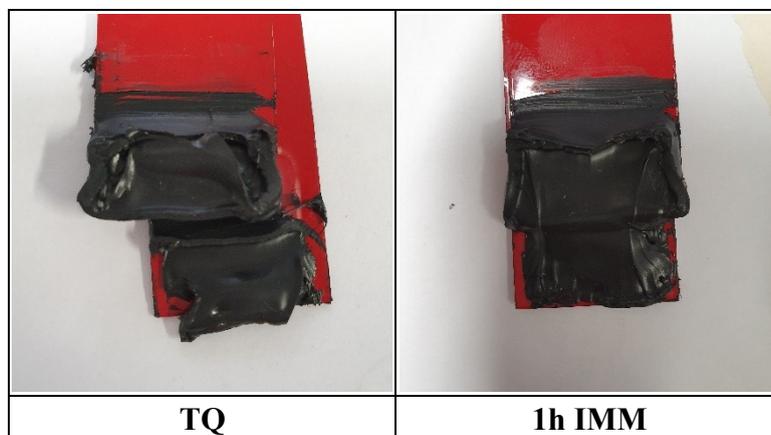


Figura 3.33 Esempi di provini Simson ISR 70-08 AP che hanno reticolato per 4h, dopo prova di trazione.

Il provino che è stato immerso per 24 h invece presenta un carico di rottura leggermente più elevato. Anche in quest'ultimo caso l'adesivo ha avuto più tempo per polimerizzare, quindi la zona centrale di materiale che non ha non reticolato risulta minore.

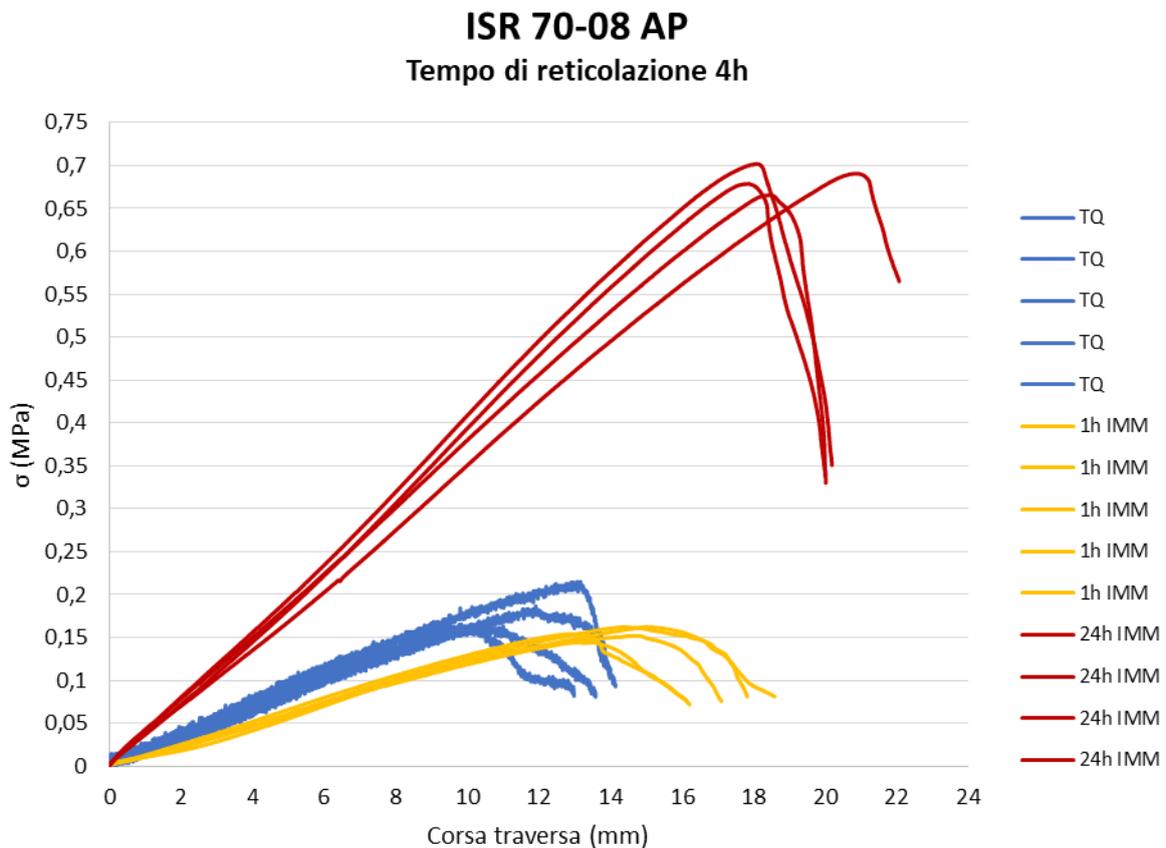


Figura 3.34 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 4h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.17 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Simson ISR 70-08 AP nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	0,2	0,02
1h IMM	0,2	0,01
24h IMM	0,7	0,01

### 3.2.2 Tempo di reticolazione 24 h

I provini presentano lo stesso carico di rottura ed anche in questo caso i provini a nuovo e quelli dopo immersione di 1 h presentano al centro una porzione di adesivo non reticolato. In tutte e tre le condizioni di prova i provini presentano distacco coesivo dell'adesivo.

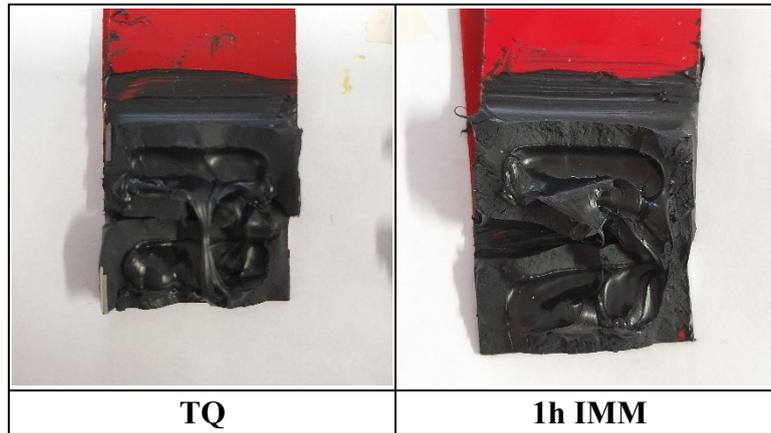


Figura 3.35 Esempi di provini Simson ISR 70-08 AP che hanno reticolato per 4h, dopo prova di trazione.

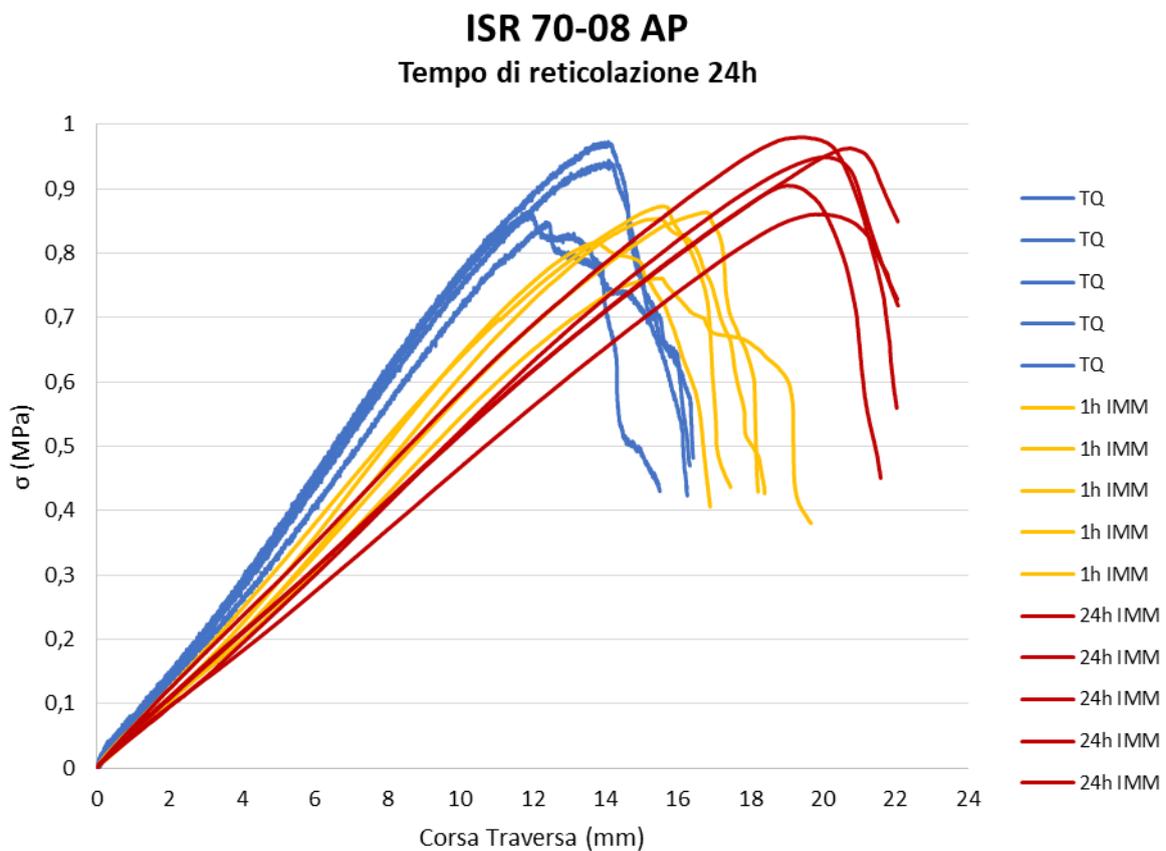


Figura 3.36 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 24h in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.18 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Simson ISR 70-08 AP nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	0,9	0,05
1h IMM	0,8	0,04
24h IMM	0,9	0,04

### 3.2.3 Tempo di reticolazione 168 h

I provini a nuovo e quelli che sono stati immersi nel liquido lavavetri presentano pressoché le stesse caratteristiche. Il provino che è stato immerso per 24 h nel liquido presenta un carico inferiore rispetto alle altre condizioni di prova.

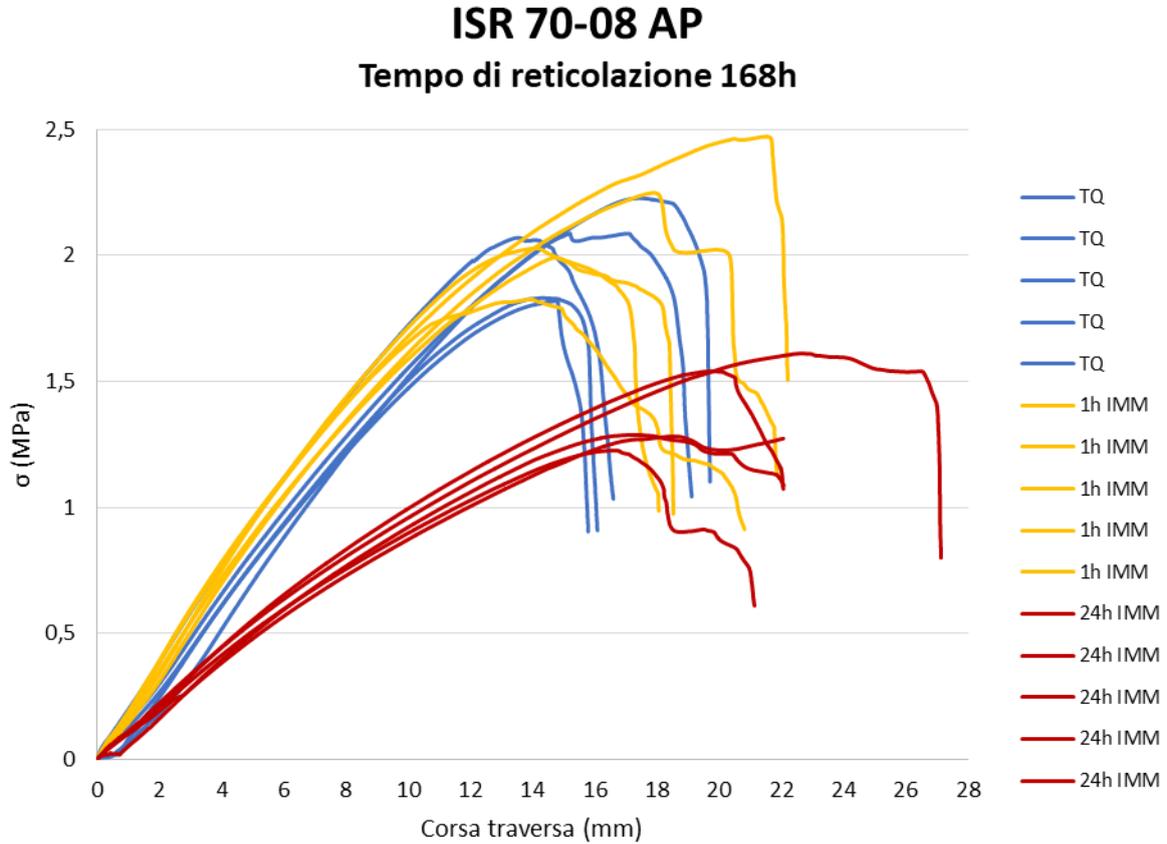


Figura 3.37 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Simson ISR 70-08 AP che ha reticolato per 168h in funzione delle differenti condizioni di prova.

I provini presentano un distacco coesivo dell'adesivo, “Figura 3.38”.

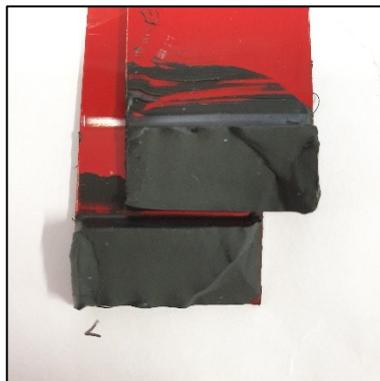


Figura 3.38 Esempio di distacco coesivo dell'adesivo Simson 70-08 AP che ha polimerizzato 168h.

Tabella 3.19 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Simson ISR 70-08 AP nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	2,0	0,16
1h IMM	2,1	0,22
24h IMM	1,4	0,15

### 3.3 Analisi densimetrica del Simson ISR 70-08 AP

Poiché, nei provini a doppia T si nota un aumento vistoso del volume del provino (“Figura 3.27”) si misura la variazione del volume e del peso in sei provini differenti.

Tabella 3.20 Variazione volume provini Simson ISR 70-08 AP.

Provino	V (cm <sup>3</sup> )		
	Dopo 168 h	Dopo immersione di 24 h	Dopo 14 h a 353 K
1	1,8216	2,4982	1,3465
2	1,8386	2,5223	1,3492
3	1,8717	2,5494	1,3517
4	0,8602	1,3114	1,307
5	0,8491	1,2883	1,3048
6	0,9815	1,4798	1,3036

Tabella 3.21 Variazione peso provini Simson ISR 70-08 AP.

Provino	m (g)		
	Dopo 168 h	Dopo immersione di 24 h	Dopo 14 h a 353 K
1	2,748	3,364	2,716
2	2,786	3,403	2,755
3	2,831	3,446	2,799
4	1,304	1,714	1,286
5	1,282	1,681	1,263
6	1,485	1,929	1,464

Da questa analisi si evince che il provino dopo l’immersione di 24 h aumenta mediamente la sua massa del 26,46% ed il suo volume del 44,25%. Dopo 14 h in forno a 353 K si nota una riduzione della massa e del volume ed in particolare, questi risultano avere un peso ed un volume iniziale minori rispetto alla prima pesata poiché non vi è la presenza di umidità adsorbita.

### 3.4 Prove di taglio Betaforce™ 9050S

In questo paragrafo sono analizzati i risultati ottenuti dalle prove di trazione dell'adesivo Betaforce™ 9050S al variare del tempo di reticolazione e dello spessore dell'adesivo.

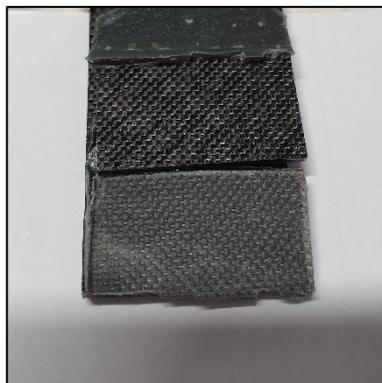
#### 3.4.1 Tempo di reticolazione 1 h

I provini sono testati dopo 1 h dall'erogazione dell'adesivo. In particolare, dai risultati si nota che, a parità di sezione di sovrapposizione delle lamine, all'aumentare dello spessore di adesivo i provini a nuovo presentano all'incirca lo stesso carico di rottura. L'adesivo non ha completato la reticolazione ed è facilmente deformabile. Il tipo di distacco è coesivo dell'adesivo.



*Figura 3.39 Esempio di distacco coesivo dell'adesivo Betaforce™ 9050S che ha polimerizzato 1h.*

I provini sottoposti ad immersione in liquido lavavetri presentano un carico di rottura maggiore rispetto al provino a nuovo. L'adesivo dopo 1 h di immersione presenta un distacco coesivo dell'adesivo. I provini immersi per 24 h presentano un grado di reticolazione nettamente maggiore rispetto ai casi precedenti ed inoltre, si ha un distacco adesivo.



*Figura 3.40 Esempio di distacco adesivo del Betaforce™ 9050S che ha polimerizzato 1h ed immerso per 24h.*

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 1,5 mm**  
**Tempo di reticolazione 1h**

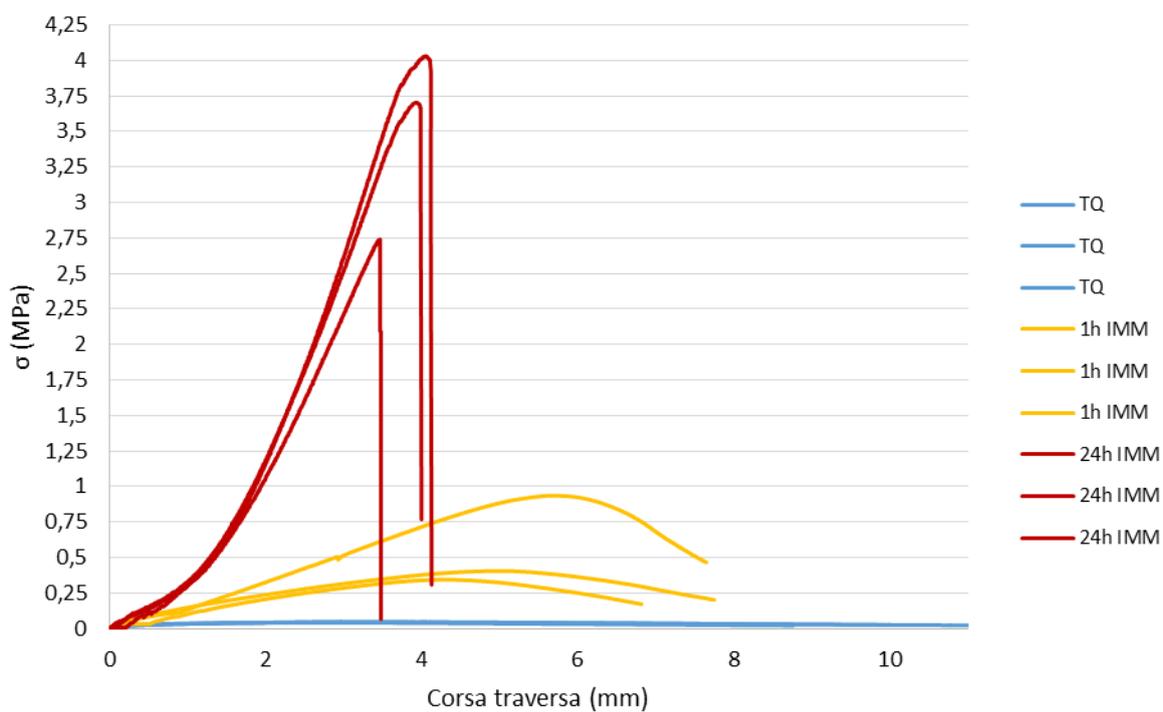


Figura 3.41 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 1h con spessore di 1,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.22 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 1,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	0,05	0,003
1h IMM	0,6	0,27
24h IMM	3,5	0,55

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 3 mm**  
**Tempo di reticolazione 1h**

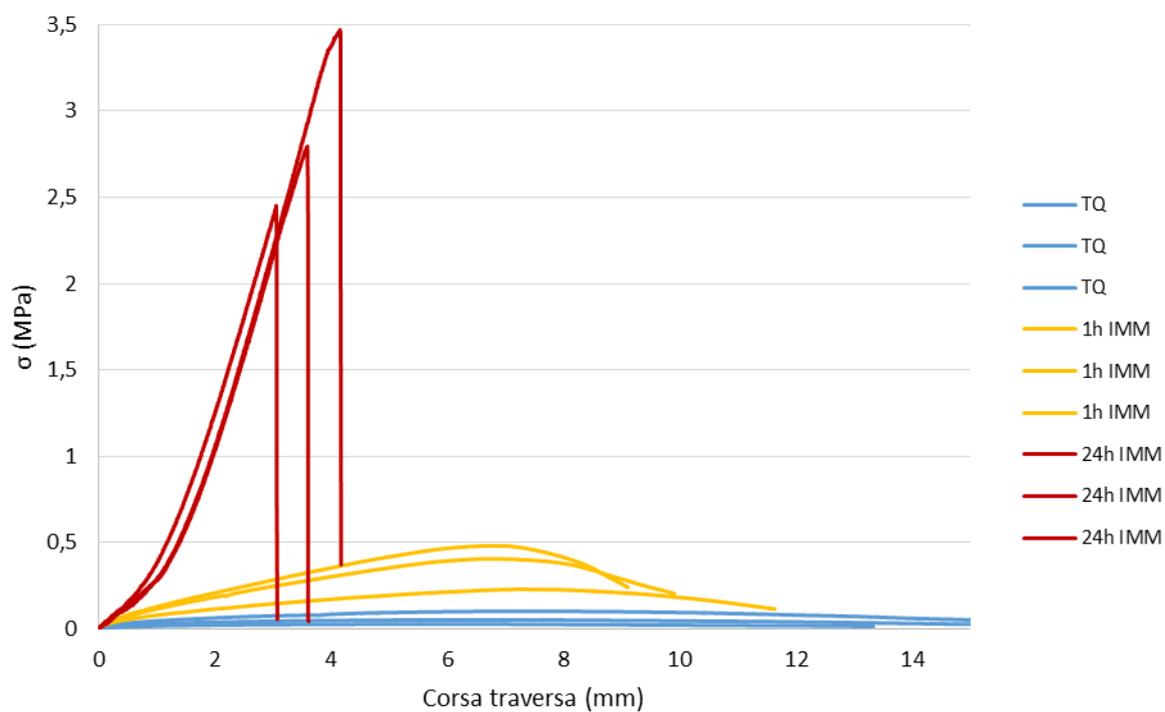


Figura 3.42 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 1h con spessore di 3mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.23 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 3mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	0,06	0,03
1h IMM	0,4	0,11
24h IMM	2,9	0,42

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 4,5 mm**  
**Tempo di reticolazione 1h**

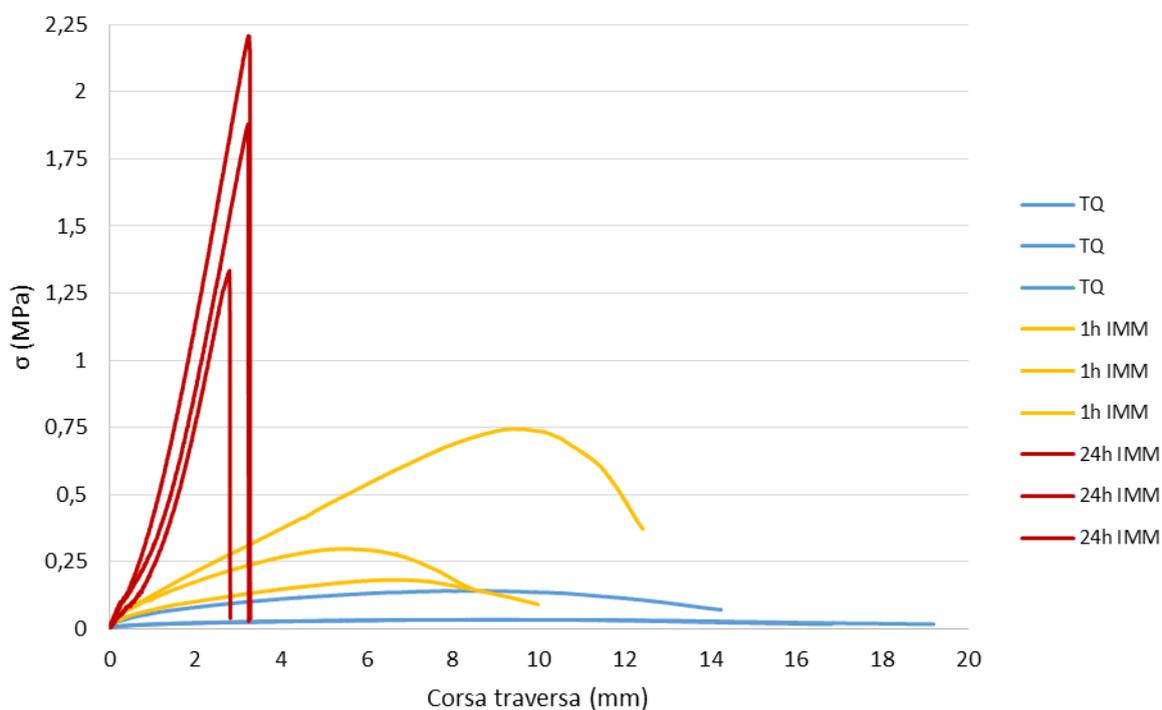


Figura 3.43 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 1h con spessore di 4,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.24 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 4,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	0,07	0,05
1h IMM	0,4	0,24
24h IMM	1,8	0,36

I provini, nelle stesse condizioni di prova, presentano carichi di rottura differenti tra di loro. Questo può essere attribuibile a:

- le lamine di fibra di carbonio essendo ricavate direttamente da un tetto, non sono perfettamente piane;
- l'incompleta polimerizzazione dell'adesivo per i provini a nuovo o immersi per 1 h in liquido NLA/FF;
- distacco adesivo nel caso dei provini immersi per 24 h.

Risulta anche di difficile interpretazione l'eventuale effetto dell'immersione dei provini all'interno del liquido NLA/FF.

### 3.4.2 Tempo di reticolazione 24 h

I provini che hanno polimerizzato per 24 h presentano un carico di rottura decrescente all'aumentare dello spessore di adesivo. Inoltre, si nota che dopo l'immersione nel liquido lavavetri NLA/FF tendenzialmente il carico di rottura è minore rispetto a quello del provino a nuovo. La figura di distacco è adesiva in tutti i provini.



Figura 3.44 Esempio di distacco adesivo del Betaforce™ 9050S che ha polimerizzato 24h.

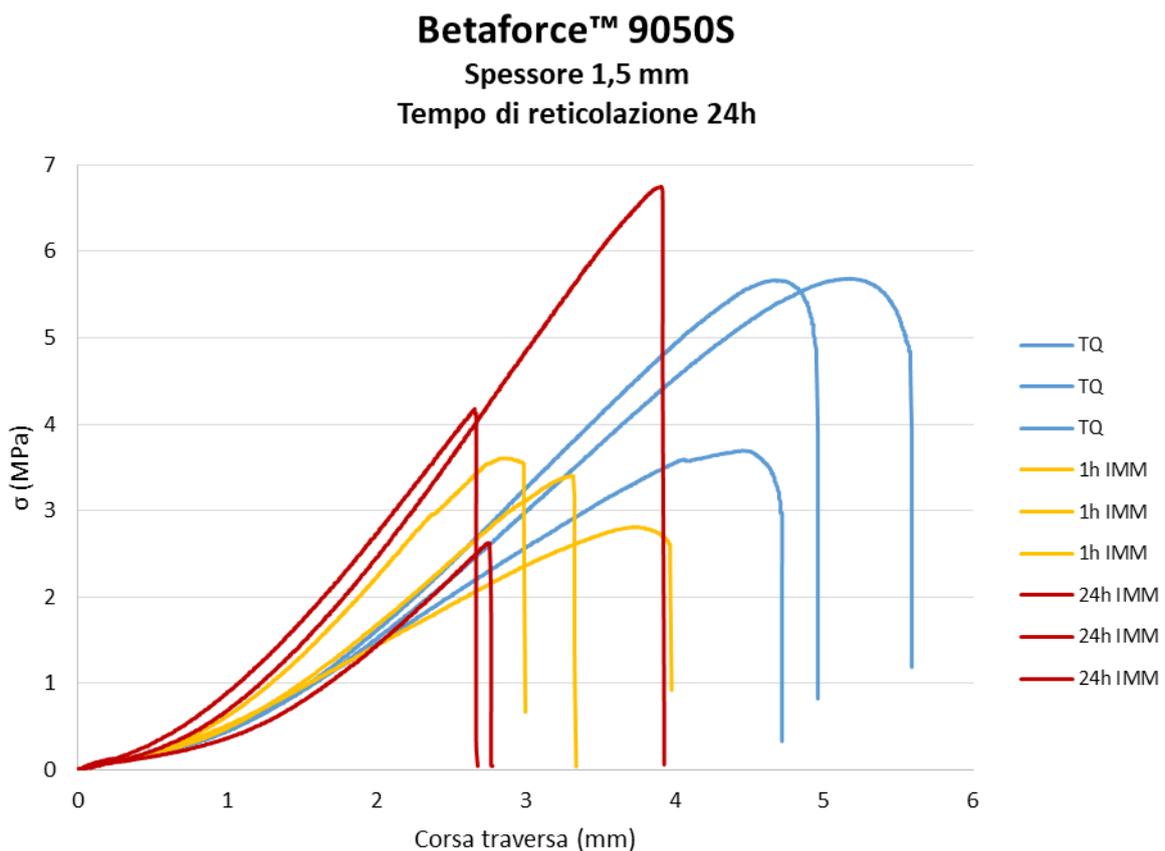


Figura 3.45 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h con spessore di 1,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.25 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 1,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	5,0	0,93
1h IMM	3,3	0,34
24h IMM	4,5	1,7

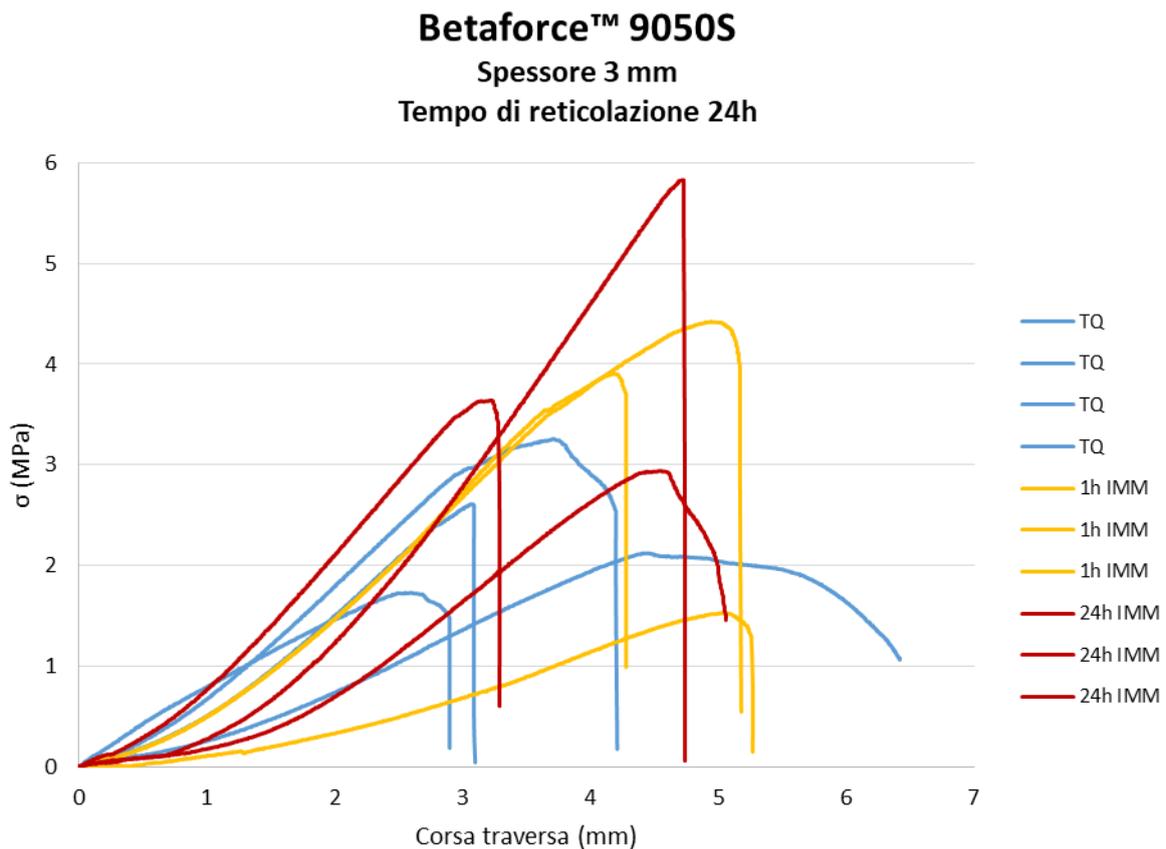


Figura 3.46 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h con spessore di 3mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.26 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 3mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	2,4	0,57
1h IMM	3,3	1,26
24h IMM	1,8	0,32

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 4,5 mm**  
**Tempo di reticolazione 24h**

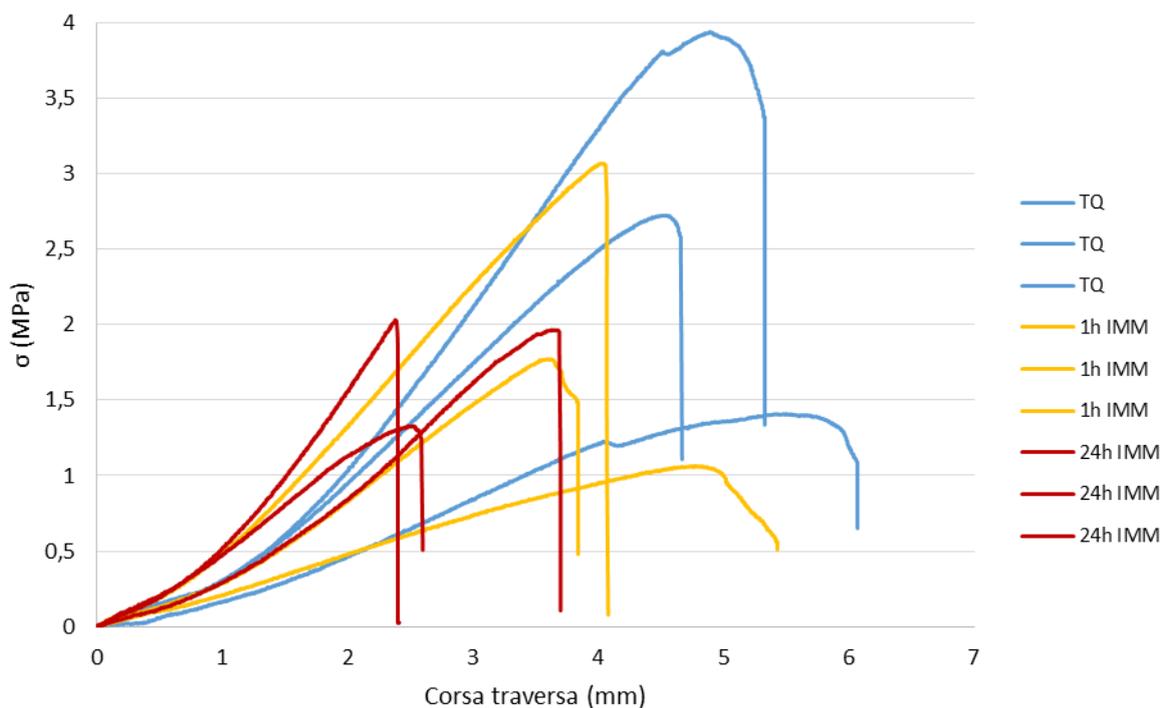


Figura 3.47 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h con spessore di 4,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.27 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S con spessore di 4,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	2,7	1,03
1h IMM	2,0	0,83
24h IMM	1,8	0,32

Anche per queste prove è difficile fare un'analisi accurata della stabilità chimica e del comportamento meccanico dell'adesivo perché i carichi dei provini della stessa tipologia sono molto discordanti. I motivi di questi risultati potrebbero essere ancora una volta le lamine non perfettamente piane e/o il distacco adesivo.

Il distacco adesivo potrebbe essere riconducibile ai distaccanti utilizzati nel processo di stampaggio del tetto. I distaccanti sono sostanze chimiche che vengono utilizzate negli stampaggi proprio per evitare l'adesione tra materiale e stampo. Quindi risulta subito evidente come queste sostanze siano incompatibili con i processi di incollaggio.

Per poter rimuovere queste sostanze efficacemente si provvede a carteggiare la superficie del provino nella zona di incollaggio. Dopo carteggiatura, si pulisce con cura i provini con salviette preimpregnate di eptano e si applica l'attivatore Betawipe™ 4800.

I provini ottenuti sono lasciati reticolare per 24 h e si ripetono le stesse prove dei provini non carteggiati.

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 1,5 mm - Provino carteggiato**  
**Tempo di reticolazione 24h**

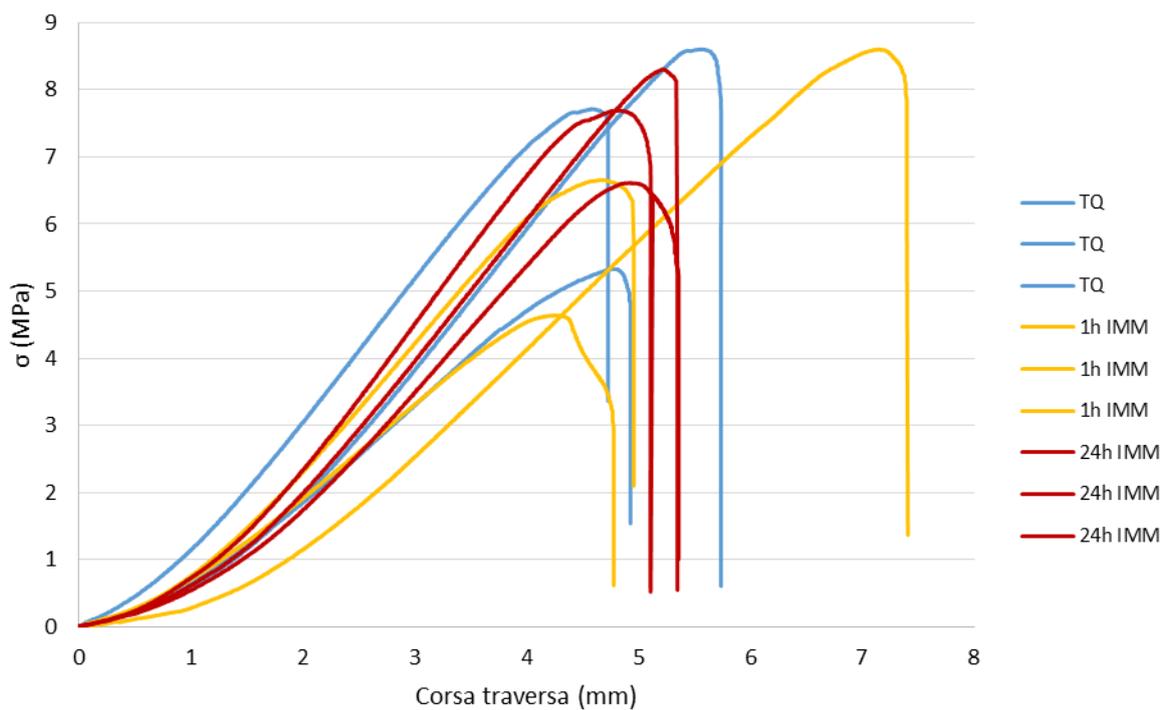


Figura 3.48 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 1,5mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.28 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S. Provini carteggiati con spessore di 1,5mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	7,2	1,38
1h IMM	6,6	1,62
24h IMM	7,5	0,70

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 3 mm - Provino carteggiato**  
**Tempo di reticolazione 24h**

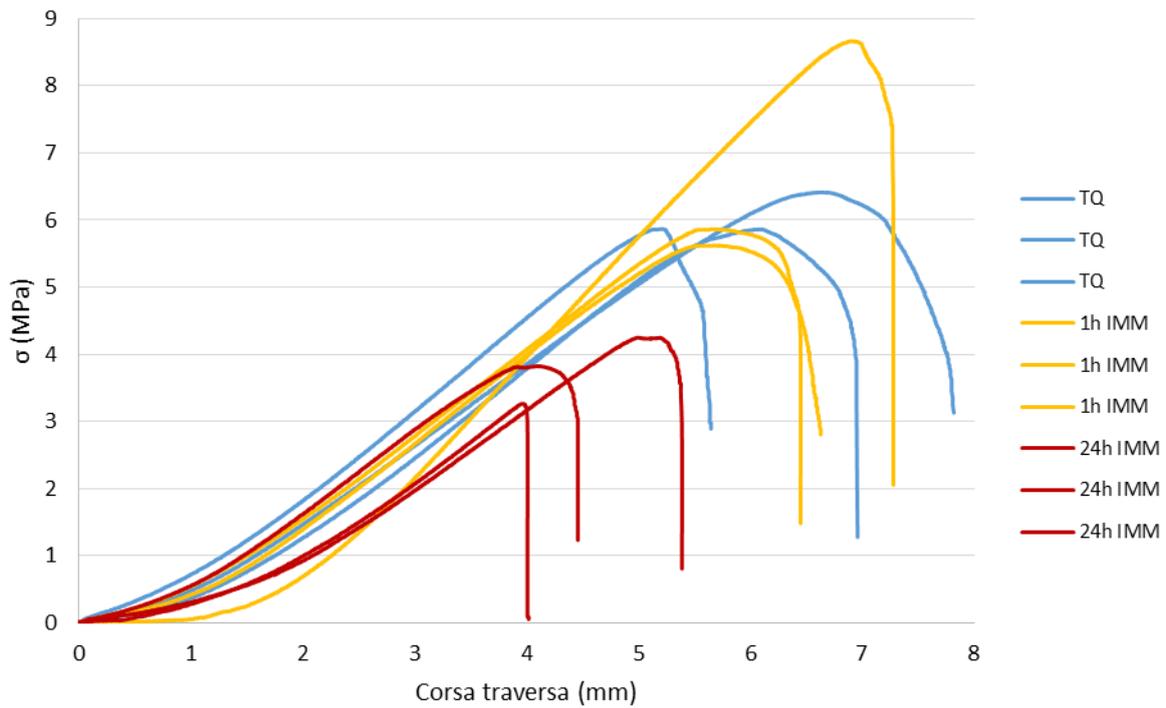


Figura 3.49 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 3mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.29 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S. Provini carteggiati con spessore di 3mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	6,1	0,26
1h IMM	6,7	1,38
24h IMM	3,8	0,40

**Betaforce™ 9050S**  
**Spessore 4,5 mm - Provino carteggiato**  
**Tempo di reticolazione 24h**

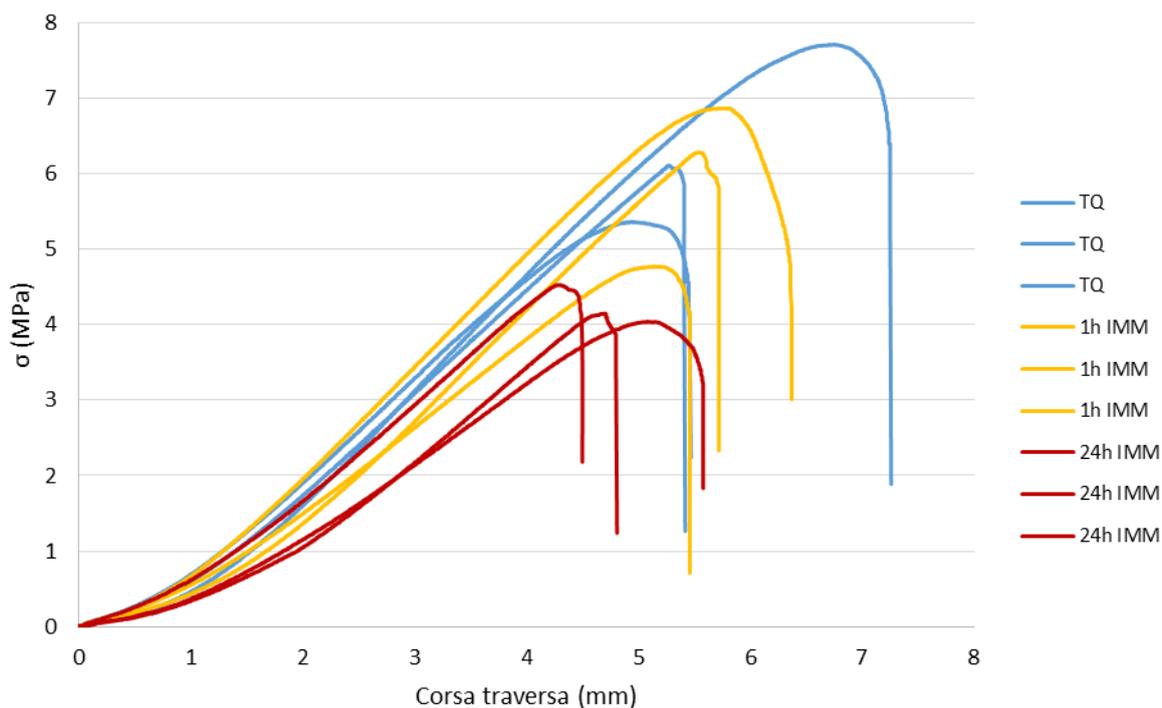


Figura 3.50 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 9050S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 4,5mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.30 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 9050S. Provini carteggiati con spessore di 4,5mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	$\sigma$
TQ	6,4	0,98
1h IMM	6,0	0,88
24h IMM	4,2	0,21

I provini carteggiati, a parità di condizioni di prova, presentano dei carichi maggiori rispetto ai provini non carteggiati. Quindi la forza di adesione è stata migliorata, confermando l'ipotesi della presenza di distaccanti sulla superficie del materiale.



Figura 3.51 Esempio di distacco adesivo del Betaforce™ 9050S che ha polimerizzato 24h con provino carteggiato.

Il distacco in questi provini è una combinazione tra distacco adesivo e coesivo (“Figura 3.51”). La variazione della figura di distacco tra i provini non permette di ottenere dei carichi di rottura confrontabili a parità di condizione di prova.

### 3.5 Prove di taglio Betaforce™ 2850S

Le prove di trazione dell’adesivo Betaforce™ 2850S vengono svolte dopo un tempo di reticolazione pari a 24 h. Non sono state svolte le prove di trazione dopo 1 h dall’erogazione perché questo adesivo risulta meno rigido rispetto al precedente e non è possibile rimuovere i provini dal supporto senza deformatarli.

#### 3.5.1 Tempo di reticolazione 24 h

Nei provini che hanno reticolato per 24 h all’aumentare dello spessore diminuisce il carico di rottura.

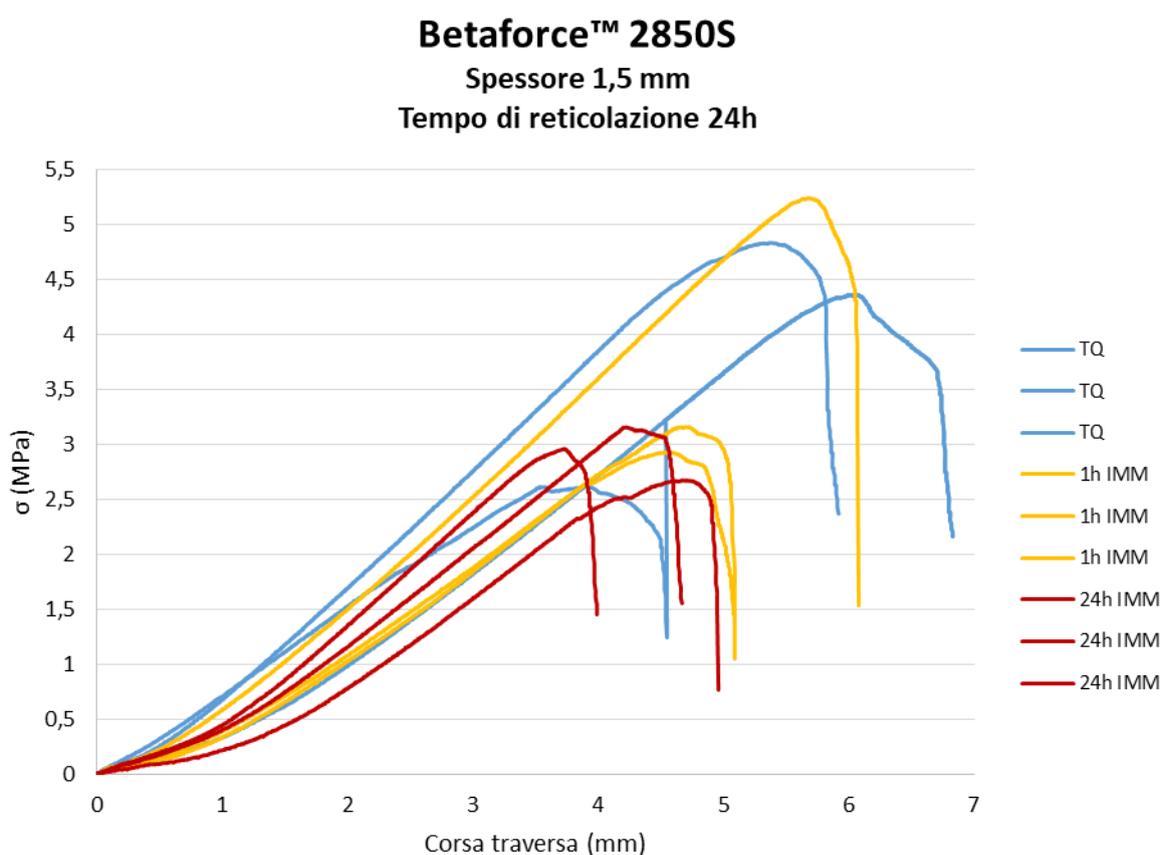


Figura 3.52 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h con spessore di 1,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.31 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S con spessore di 1,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	3,9	0,95
1h IMM	3,8	1,04
24h IMM	2,9	0,20

**Betaforce™ 2850S**  
**Spessore 3 mm**  
**Tempo di reticolazione 24h**

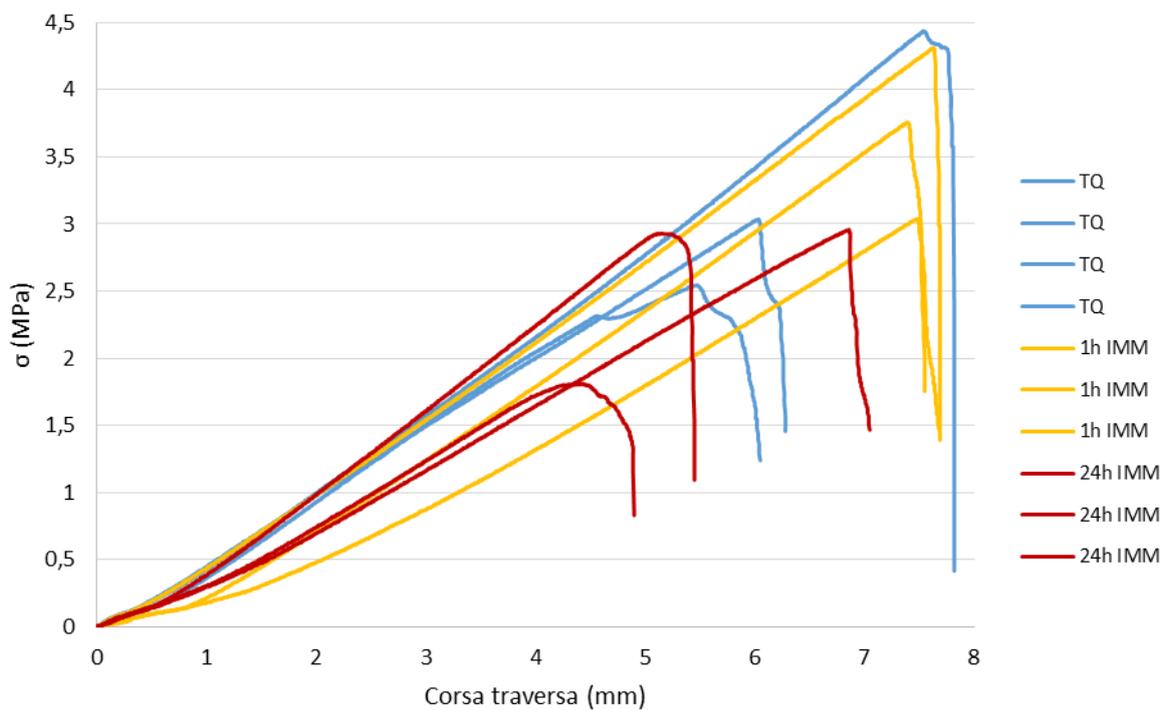


Figura 3.53 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h con spessore di 3mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.32 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S con spessore di 3mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	3,3	0,80
1h IMM	3,7	0,52
24h IMM	2,6	0,53

**Betaforce™ 2850S**  
**Spessore 4,5 mm**  
**Tempo di reticolazione 24h**

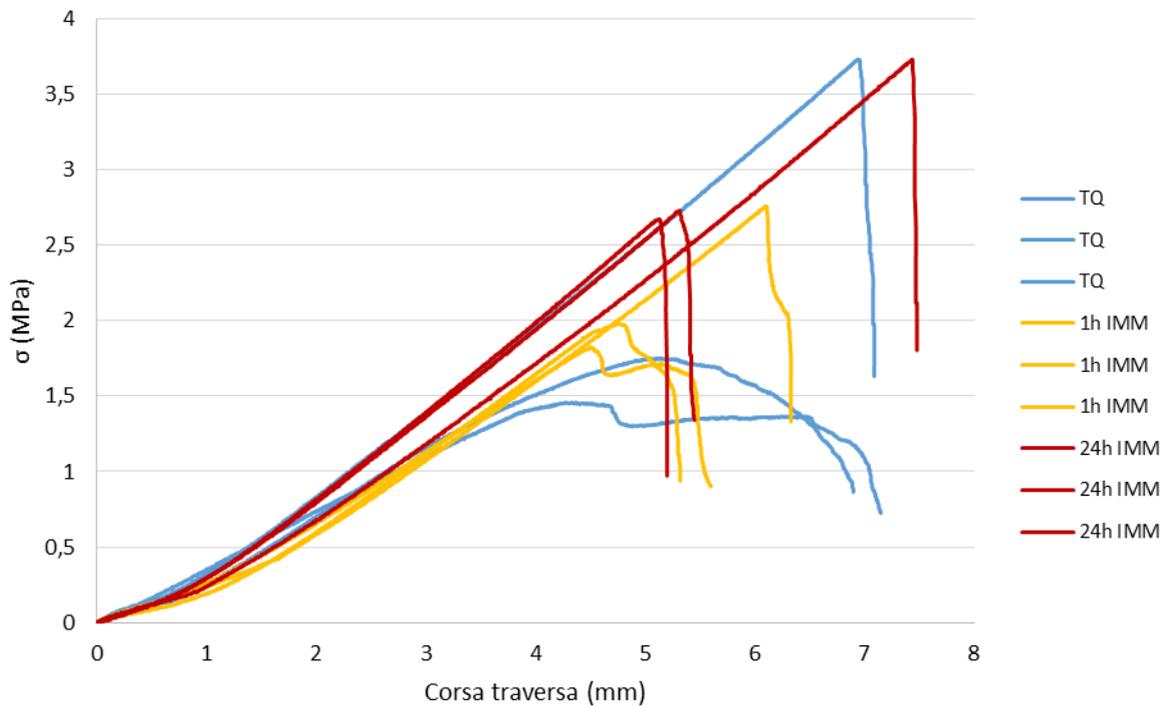


Figura 3.54 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h con spessore di 4,5mm, in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.33 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S con spessore di 4,5mm, nelle differenti condizioni di prova.

Prova	$R_m$ (MPa)	$\sigma$
TQ	2,3	1,01
1h IMM	2,2	0,41
24h IMM	3,0	0,49

Tutti i provini presentano distacco adesivo.



Figura 3.55 Esempio di distacco adesivo del Betaforce™ 2850S che ha polimerizzato 24h.

L'analisi dei dati risulta difficile a causa dei carichi di rottura molto diversi tra di loro a parità di condizioni di invecchiamento. Questo potrebbe essere attribuito ancora una volta alla forma delle lamine e al distacco adesivo.

Anche per questo adesivo sono state svolte delle prove mediante provini precedentemente carteggiati.

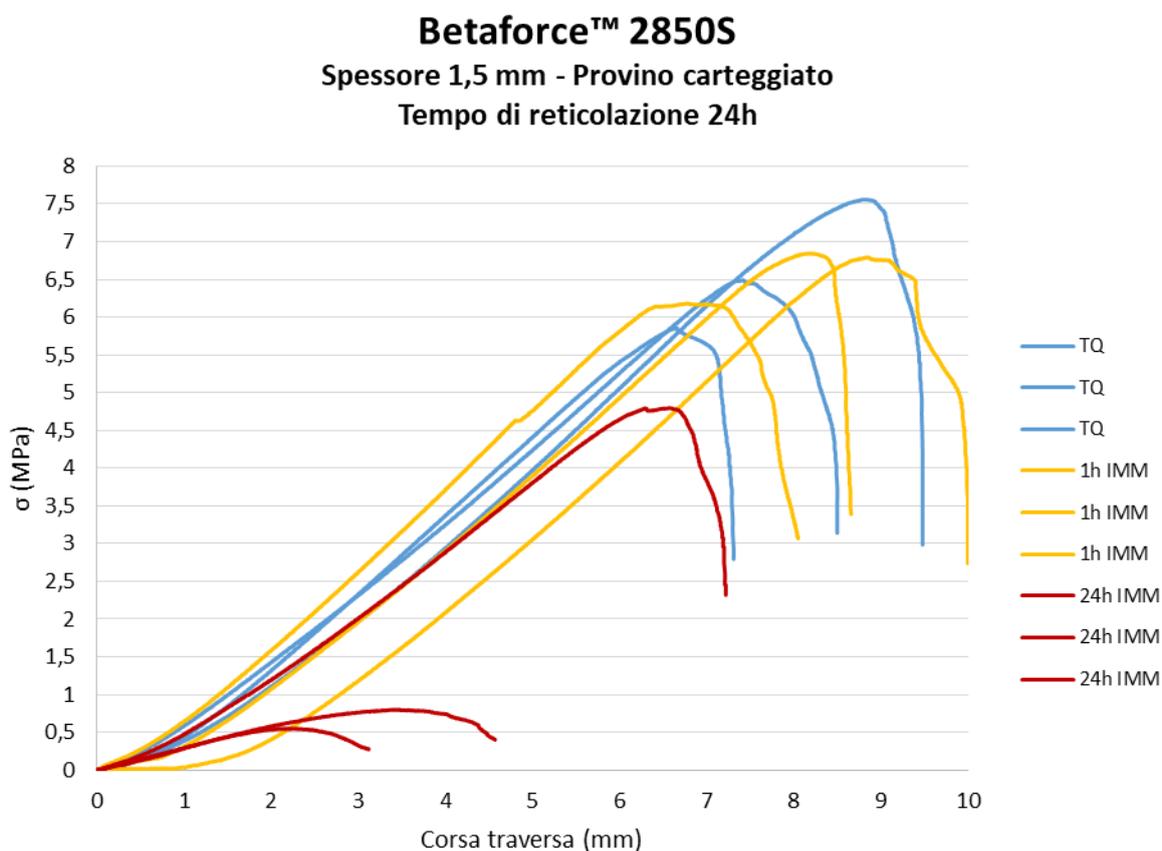


Figura 3.56 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 1,5mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.34 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S. Provini carteggiati con spessore di 1,5mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	6,6	0,70
1h IMM	6,6	0,30
24h IMM	2,0	1,94

**Betaforce™ 2850S**  
**Spessore 3 mm - Provino carteggiato**  
**Tempo di reticolazione 24h**

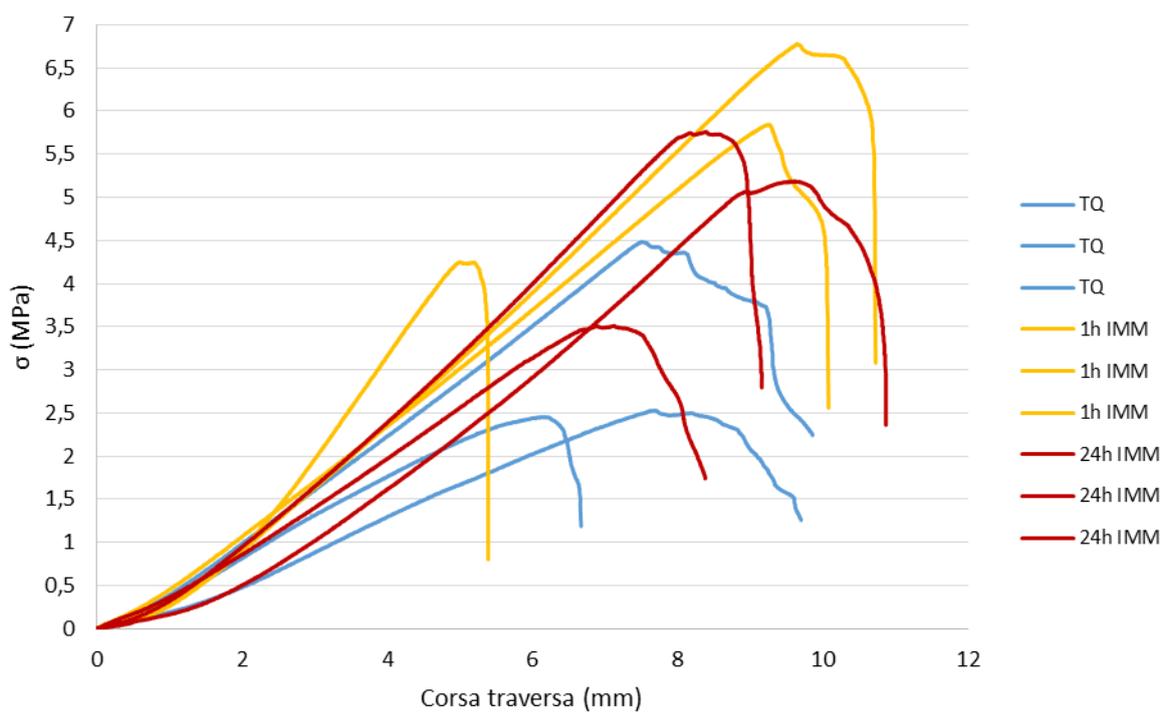


Figura 3.57 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 3mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.35 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S. Provini carteggiati con spessore di 3mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	3,2	0,94
1h IMM	5,6	1,07
24h IMM	4,8	0,96

**Betaforce™ 2850S**  
**Spessore 4,5 mm - Provino carteggiato**  
**Tempo di reticolazione 24h**

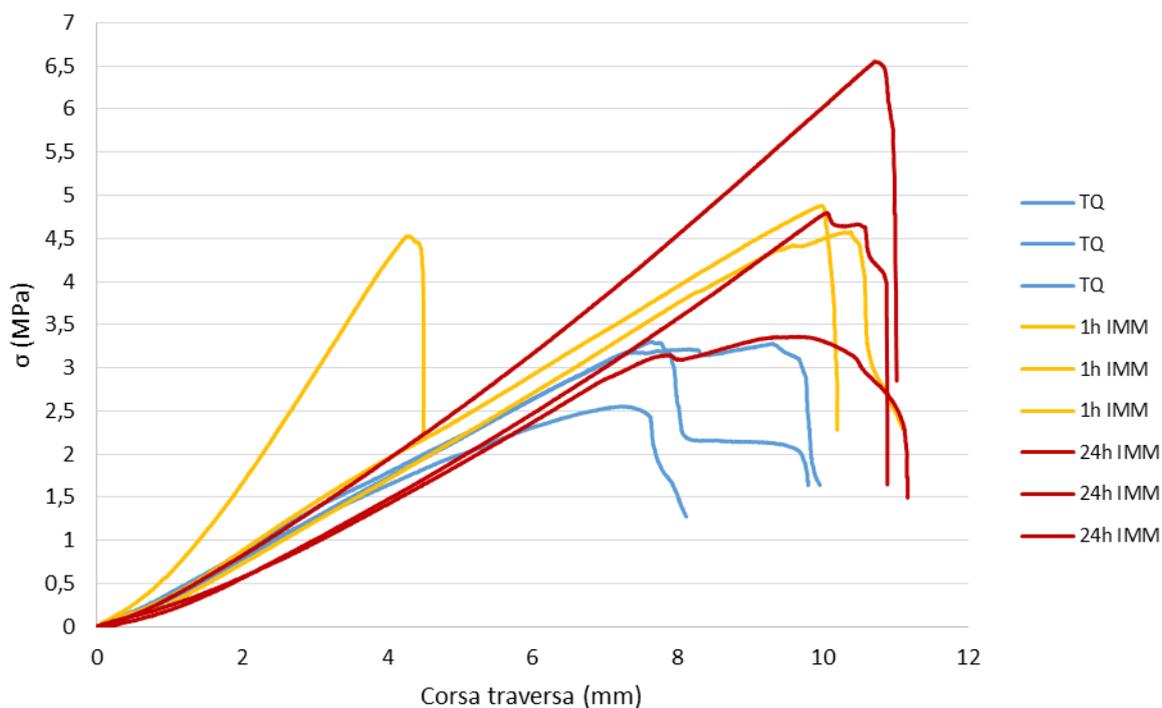


Figura 3.58 Diagramma Sforzo-Corsa traversa del Betaforce™ 2850S che ha reticolato per 24h. Provini carteggiati con spessore di 4,5mm in funzione delle differenti condizioni di prova.

Tabella 3.36 Carichi medi di rottura registrati nelle prove di taglio dei provini di Betaforce™ 2850S. Provini carteggiati con spessore di 4,5mm nelle differenti condizioni di prova.

Prova	R <sub>m</sub> (MPa)	σ
TQ	3,0	0,35
1h IMM	4,7	0,14
24h IMM	4,9	1,30

I provini in questo caso presentano un distacco coesivo dell'adesivo. Quindi la carteggiatura ha permesso un'ottima adesione sull'aderente.



Figura 3.59 Esempio di distacco adesivo del Betaforce™ 2850S che ha polimerizzato 24h con provino carteggiato.

I carichi di rottura mediamente diminuiscono con l'aumentare dello spessore dell'adesivo.

I risultati ottenuti rimangono comunque oscillanti e risulta nuovamente difficile interpretare l'effetto che ha l'immersione sui provini.

## 4 Conclusioni

Lo scopo di questa tesi è la valutazione della stabilità chimica e delle proprietà meccaniche di adesivi strutturali flessibili per impiego veicolistico.

Sono stati oggetto di analisi due differenti tipi di adesivi strutturali per l'incollaggio vetri: il Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 ed il Simson ISR 70-08 AP.

Dalle prove svolte si evince che il Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10, a base poliuretanic, presenta una resistenza alla trazione nettamente superiore al Simson ISR 70-08 AP, coerentemente con quanto indicato sulle schede tecniche dei materiali.

Inoltre, il Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10 presenta un comportamento prettamente elastico, mentre il Simson ISR 70-08 AP si deforma plasticamente.

Per quanto riguarda la compatibilità chimica tra gli adesivi ed il liquido lavavetri NLA/FF, si nota subito come il contatto prolungato con l'adesivo (anche completamente polimerizzato) vada a ridurre il carico di rottura dei provini.

In particolare, nelle prove di trazione assiale dei provini di Sikaflex<sup>®</sup>-250 IF-10, si può notare che l'adesivo dopo l'immersione riduce i carichi di rottura, mentre l'allungamento dei provini rimane pressoché uguale a quello dei provini a nuovo. Invece, nei provini di Simson ISR 70-08 AP, l'immersione riduce il tratto elastico e allunga quello plastico, permettendo una maggior deformazione e quindi un maggior allungamento del provino. Inoltre, i provini di ISR 70-08 AP soffrono maggiormente le immersioni infatti, in alcuni casi i provini sono stati gravemente danneggiati o aumentato il loro volume.

In generale, si nota che per l'IF-10 gli effetti dell'immersione nel liquido lavavetri NLA/FF vengono annullati se si lascia desorbire il liquido dall'adesivo.

Questo invece non avviene per l'ISR 70-08 AP che, invece, non ritorna alle caratteristiche originarie del materiale. Inoltre, dal confronto con immersione in acqua distillata si evince che è proprio la parte alcolica del liquido ad influenzare il comportamento meccanico del Simson ISR 70-08 AP.

Per poter valutare la stabilità chimica del Simson ISR 70-08 AP, rispetto al liquido lavavetri NLA/FF, è stata svolta dal Chemical Laboratory del CRF un'analisi spettroscopica infrarossa a trasformata di Fourier (Spettroscopia FT-IR). In particolare, sono stati analizzati un campione tal quale, uno dopo 1 h di immersione nel liquido ed infine uno dopo un'immersione di 24 h. Si lascia desorbire il liquido dai campioni a  $296 \pm 5$  K con umidità relativa compresa tra il 45-70% prima di svolgere l'analisi spettroscopica.

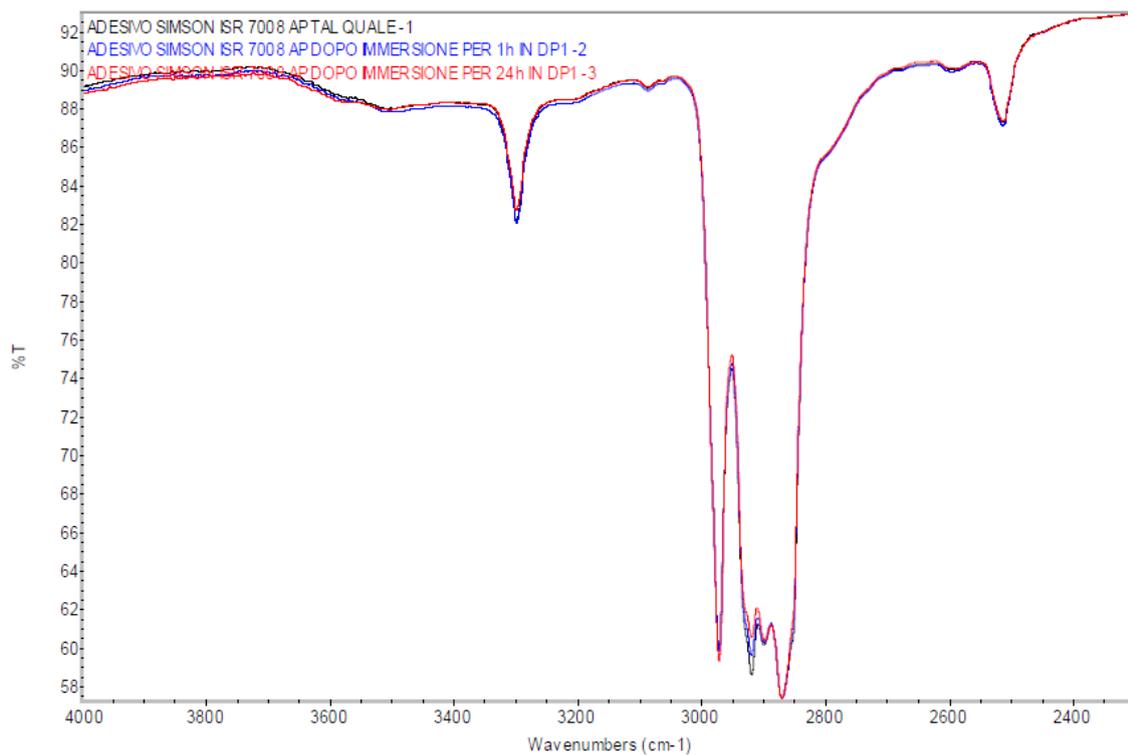


Figura 4.1 Spettri infrarosso dei tre campioni di Simson ISR70-08 AP, da 4000  $cm^{-1}$  a 2300  $cm^{-1}$ .

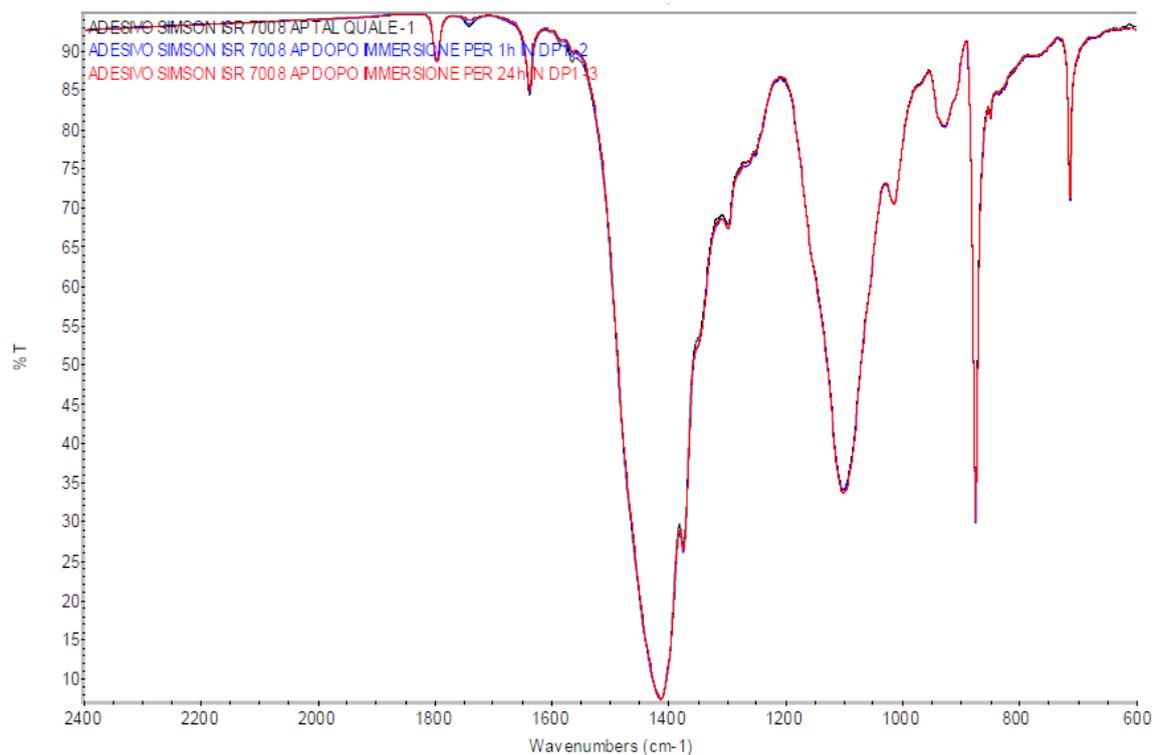


Figura 4.2 Spettri infrarosso dei tre campioni di Simson ISR70-08 AP, da 2400  $cm^{-1}$  a 600  $cm^{-1}$ .

Dai risultati dell'analisi spettroscopica ("Figura 4.1" e "Figura 4.2") si evince che i tre campioni risultano essere uguali a livello di struttura molecolare. Da questo si deduce che il liquido lavavetri NLA/FF non partecipa alla reazione di reticolazione del polimero, quindi la riduzione delle caratteristiche meccaniche dell'adesivo Simson ISR 70-08 AP può essere attribuita al solo effetto fisico derivato dall'adsorbimento del liquido lavavetri.

Per quanto riguarda gli adesivi per l'incollaggio dei tetti in fibra di carbonio non è stato possibile effettuare un'analisi degli effetti del liquido lavavetri NLA/FF sugli adesivi.

Prima di poter svolgere altre analisi sulla stabilità chimica, è consigliabile studiare un metodo di preparazione dei campioni che permetta di avere una dispersione limitata dei valori conseguiti in termini di carico unitario. Questo risultato può essere raggiunto:

- utilizzando dei lamierini in fibra di carbonio piani, per evitare che la curvatura influenzi la distribuzione del carico lungo il provino;
- carteggiando la zona interessata all'incollaggio, per rimuovere i distaccanti sulla superficie;
- trattando la superficie con prodotti a base di butanone o di propanone, piuttosto che un attivatore a base di eptano. Questo perché i chetoni hanno la capacità di aggredire la resina, utilizzata per l'unione delle lamine di tessuto di fibra di carbonio. Rompendo i legami chimici in superficie, si promuove l'adesione e l'instaurarsi dei nuovi legami.

La possibilità di sostituire l'attivatore a base di eptano con un primer a base di butanone o di propanone, va analizzata con cura perché i primer solitamente sono sostanze ad alto rischio chimico che necessitano le giuste precauzioni per la sicurezza dei lavoratori coinvolti.

Se questo non è sufficiente alla risoluzione del problema, allora è consigliabile aumentare il numero di provini esaminati.

L'unico risultato, che è possibile commentare, è l'influenza che ha lo spessore di adesivo applicato nei confronti del carico di rottura applicabile. In particolare, per entrambi gli adesivi bicomponenti si evince che all'aumentare dello spessore, a parità di sezione di sovrapposizione, si ha una diminuzione del carico di rottura. Quindi si ottengono migliori prestazioni per spessori dell'ordine di qualche millimetro.



## Lista simboli

$\rho$  Densità in g/cm<sup>3</sup>

m Massa in g

$\sigma$  Carico unitario MPa

F Forza di trazione N

S<sub>0</sub> Sezione iniziale mm<sup>2</sup>

R<sub>m</sub> Carico di rottura MPa



## Bibliografia

- [1] ASTM D907-15, *Standard Terminology of Adhesives*, Pennsylvania, ASTM International, 2015
- [2] Ebnesajjad S., Landrock A. H., *Adhesives Technology Handbook*, 3 ed., Elsevier, 2014.
- [3] da Silva L. F. M., Öchsner A., Adams R. D., *Handbook of Adhesion Technology*, 2 ed., Springer International Publishing, 2018.
- [4] Burchardt B., Diggelmann K., Koch S., Lanzendörfer B., Wappmann R., Wolf J., *Elastic Bonding – The basic principles of adhesive technology and a guide to its cost-effective use in industry*, 2 ed., Germania, Sellier Druck GmbH, 2006.
- [5] Brinson H. F. *et al.*, *Engineered Materials Handbook – Adhesives and Sealants*, v. III, ASM International, 1990.
- [6] Petrie E. M., *Handbook of Adhesives and Sealants*, 2 ed., McGraw-Hill, 2006.
- [7] Cognard F., *Handbook of Adhesives and Sealants*, v. I, Francia, Elsevier, 2005.
- [8] Gierenz G., Karmann W., *Adhesives and Adhesive Tapes*, 1 ed., Wiley-VCH, 2001.



# Appendice

Si riportano di seguito le schede di sicurezza dei materiali utilizzati.

## Scheda dati di sicurezza

Conforme al regolamento (CE) 1907/2006 (REACH), Allegato II - Svizzera



### 1. IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/DEL PREPARATO E DELLA SOCIETÀ/DELL'IMPRESA

#### Identificazione della sostanza o del preparato

Denominazione del prodotto o Denominazione commerciale :

Sikaflex®-250 IF-10

Uso della sostanza/del preparato : Prodotto chimico per edilizia e industria

#### Identificazione della società/dell'impresa

Produttore/Distributore : Sika Schweiz AG  
Tüffenwies 16  
CH-8048 Zürich  
Schweiz

N. telefonico : +41 58 436 40 40

Fax no. :

Indirizzo e-mail della persona responsabile della scheda di dati di sicurezza : EHS@ch.sika.com

Telefono per emergenze : +41 (0) 79 309 06 29  
Nur ausserhalb der Geschäftszeiten

### 2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

Questo prodotto è classificato come pericoloso in base alla Direttiva 1999/45/CE e suoi emendamenti.

Classificazione : R42/43

Pericoli per la salute umana : Può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle.

Fraasi di avvertenza supplementari : Contiene isocianati. Leggere le informazioni fornite dal fabbricante.

Per informazioni più dettagliate sugli effetti per la salute e i sintomi, vedere la Sezione 11.

### 3. COMPOSIZIONE/INFORMAZIONI SUGLI INGREDIENTI

Famiglia Chimica/Caratteristiche : Polimero poliuretano reattivo caricato

Denominazione componente	Numero CAS	%	Numero CE	Classificazione
Polisocianato alifatico	28182-81-2	1-5		R43 [1]
diisocianato di 4,4'-metilendifenile	101-68-8	0.1-1	202-966-0	Xn; R20 [1] [2] Xi; R36/37/38 R42/43
Consultare la sezione 16 per il testo completo delle frasi R sopra riportate				

Non sono presenti ingredienti addizionali che, nelle conoscenze attuali del fornitore e nelle concentrazioni applicabili, siano classificati come nocivi alla salute o all'ambiente e che debbano quindi essere riportati in questa sezione.

[1] Sostanza che presenta un pericolo per la salute o per l'ambiente

[2] Sostanza per cui sussistono limiti all'esposizione sul luogo di lavoro

[3] Sostanza PBT

[4] Sostanza vPvB

I limiti di esposizione occupazionale, se conosciuti, sono elencati in sezione 8.

Data di edizione : 28.05.2010. N. MSDS : 120037 1/6

# Scheda dati di sicurezza

Scheda di Dati di Sicurezza ai sensi del Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH)

SIMSON ISR 70-08 AP NERO  
Data di sostituzione: Nessun informazioni disponibili

Data di revisione 14-set-2016  
Versione 1.03

## Sezione 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA O DELLA MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

### 1.1. Identificatore del prodotto

Denominazione del Prodotto SIMSON ISR 70-08 AP NERO  
Sostanza/miscela pura Miscela

### 1.2. Usi pertinenti identificati della sostanza o miscela e usi sconsigliati

Uso raccomandato Adesivi.  
Usi sconsigliati Nessuno noto

### 1.3. Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

#### Nome della Società

Bostik SA  
Immeuble "Le Jade"  
253 Avenue du President Wilson  
93211 La Plaine Saint Denis  
Francia  
Tel: +33 (0)1 55 99 90 00  
Fax: +33 (0)1 55 99 90 01

Indirizzo e-mail SDS.box-EU@bostik.com

### 1.4. Numero telefonico di emergenza

Italia +39 (02) 93513 509

## Sezione 2: IDENTIFICAZIONE DEL PERICOLO

### 2.1. Classificazione della sostanza o della miscela

Classificazione secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008 [CLP]

Non classificato

### 2.2. Elementi dell'etichetta

Etichettatura secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008 [CLP]

Non classificato

#### Avvertenza

Nessuna avvertenza

EUH210 - Scheda dati di sicurezza disponibile su richiesta

### 2.3. Altri pericoli

#### Pericoli generici

Piccole quantità di metanolo (CAS 67-56-1) sono formate per idrolisi e rilasciate in fase di reticolazione.

#### Valutazione PBT e vPvB

I componenti nella presente formulazione non soddisfano i criteri di classificazione come PBT o vPvB

Italia - EN

Pagina 1 / 10



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

DOW EUROPE GMBH

Scheda di dati di sicurezza secondo il Regolamento UE n° 453/2010

Nome del prodotto: BETAWIPE™ 4800

Data di revisione: 13.02.2015

Versione: 1.0

Data di stampa: 20.03.2015

DOW EUROPE GMBH s'incoraggia e ci si aspetta la lettura e la comprensione dell'intero GBF poiché sono presenti informazioni importanti lungo tutto il documento. Si esige il rispetto delle precauzioni identificate in questo documento salvo che le condizioni d'uso abbiano bisogno di altri metodi e interventi appropriati.

### SEZIONE 1. IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA O DELLA MISCELA E DELLA SOCIETÀ/ IMPRESA

#### 1.1 Identificatore del prodotto

Nome del prodotto: BETAWIPE™ 4800

#### 1.2 Usi pertinenti identificati della sostanza o miscela e usi sconsigliati

Usi identificati: Fondo di rivestimento. Per applicazioni nell'industria automobilistica.

#### 1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

##### IDENTIFICAZIONE DELLA SOCIETÀ

DOW EUROPE GMBH  
BACHTOBELSTRASSE 3  
8810 HORGEN  
SWITZERLAND

Numero telefonico Servizio Assistenza Clienti: (31) 115 67 2626

[SDSQuestion@dow.com](mailto:SDSQuestion@dow.com)

#### 1.4 NUMERO TELEFONICO DI EMERGENZA

Numero telefonico di chiamata urgente attivo 24 ore su 24: 00 41 447 28 2820

In caso di emergenze locali contattare: 00 39 335 697 9115

telefono Centro Antiveleeni Ospedale Niguarda (MI): 02-66101029

### SEZIONE 2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

#### 2.1 Classificazione della sostanza o della miscela

Classificazione secondo le Direttive EU 67/548/CEE o 1999/45/CE:

Facilmente infiammabile - F - R11

Nocivo - Xn - R65

Irritante - Xi - R38

Pericoloso per l'ambiente - N - R50/53

R67

Per il testo completo delle frasi R menzionate in questa sezione, riferirsi alla sezione 16.



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL

Scheda di dati di sicurezza secondo il Regolamento UE n° 2015/830

Nome del prodotto: BETAFORCE™ 9050 S IsoC

Data di revisione: 17.10.2018

Versione: 4.1

Data di stampa: 06.06.2019

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL raccomanda di leggere con attenzione la Scheda di Sicurezza (SDS) del prodotto in ogni sua sezione. Il documento contiene informazioni importanti. L'azienda che riceve il documento dovrà seguire le precauzioni in esso identificate, salvo nel caso in cui le condizioni di uso presso l'azienda richiedano l'adozione di misure o azioni più adeguate, diverse da quelle descritte.

### SEZIONE 1. IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

#### 1.1 Identificatore del prodotto

Nome del prodotto: BETAFORCE™ 9050 S IsoC

#### 1.2 Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

Usi identificati: Un adesivo – Per applicazioni nel settore automobilistico.

#### 1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

**IDENTIFICAZIONE DELLA SOCIETÀ**  
SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL  
VIA ALBANI 85  
20148 MILANO  
ITALY

Numero telefonico Servizio Assistenza Clienti: 800-3876-8838  
SDSQuestion-EU@dupont.com

#### 1.4 NUMERO TELEFONICO DI EMERGENZA

Numero telefonico di chiamata urgente attivo 24 ore su 24: +(39)-0245557031  
In caso di emergenze locali contattare: +(39)-0245557031  
telefono Centro Antiveleni Ospedale Niguarda (MI): 02-66101029

### SEZIONE 2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

#### 2.1 Classificazione della sostanza o della miscela

Classificazione secondo il Regolamento (CE) n° 1272/2008.

Tossicità acuta - Categoria 4 - Inalazione - H332

Irritante per la pelle - Categoria 2 - H315

Irritazione oculare - Categoria 2 - H319

Sensibilizzazione delle vie respiratorie - Categoria 1 - H334

Sensibilizzazione cutanea - Categoria 1 - H317

Cancerogenicità - Categoria 2 - H351

Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola - Categoria 3 - H335



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL

Scheda di dati di sicurezza secondo il Regolamento UE n° 2015/830

**Nome del prodotto:** BETAFORCE™ 9050 S PoIC

**Data di revisione:** 17.10.2018

**Versione:** 4.0

**Data ultima edizione:** 02.03.2017

**Data di stampa:** 06.06.2019

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL raccomanda di leggere con attenzione la Scheda di Sicurezza (SDS) del prodotto in ogni sua sezione. Il documento contiene informazioni importanti. L'azienda che riceve il documento dovrà seguire le precauzioni in esso identificate, salvo nel caso in cui le condizioni di uso presso l'azienda richiedano l'adozione di misure o azioni più adeguate, diverse da quelle descritte.

### SEZIONE 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

#### 1.1 Identificatore del prodotto

**Nome del prodotto:** BETAFORCE™ 9050 S PoIC

#### 1.2 Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

**Usi identificati:** Un adesivo – Per applicazioni nel settore automobilistico.

#### 1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

##### IDENTIFICAZIONE DELLA SOCIETÀ

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL  
VIA ALBANI 85  
20148 MILANO  
ITALY

**Numero telefonico Servizio Assistenza Clienti:** 800-3876-8838  
SDSQuestion-EU@dupont.com

#### 1.4 NUMERO TELEFONICO DI EMERGENZA

**Numero telefonico di chiamata urgente attivo 24 ore su 24:** +(39)-0245557031

**In caso di emergenze locali contattare:** +(39)-0245557031

**telefono Centro Antiveneni Ospedale Niguarda (MI):** 02-66101029

### SEZIONE 2: IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

#### 2.1 Classificazione della sostanza o della miscela

**Classificazione secondo il Regolamento (CE) n° 1272/2008.**

Tossicità acuta - Categoria 4 - Orale - H302

Lesioni oculari gravi - Categoria 1 - H318

Tossicità cronica per l'ambiente acquatico - Categoria 3 - H412

Per quanto riguarda il testo completo delle indicazioni di pericolo menzionate in questo paragrafo, riferirsi al paragrafo 16.



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL

Scheda di dati di sicurezza secondo il Regolamento UE n° 2015/830

**Nome del prodotto:** BETAFORCE™ 2850S IsoC AComp

**Data di revisione:** 06.12.2018

**Versione:** 3.0

**Data ultima edizione:** 17.10.2018

**Data di stampa:** 06.06.2019

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL raccomanda di leggere con attenzione la Scheda di Sicurezza (SDS) del prodotto in ogni sua sezione. Il documento contiene informazioni importanti. L'azienda che riceve il documento dovrà seguire le precauzioni in esso identificate, salvo nel caso in cui le condizioni di uso presso l'azienda richiedano l'adozione di misure o azioni più adeguate, diverse da quelle descritte.

### SEZIONE 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

#### 1.1 Identificatore del prodotto

**Nome del prodotto:** BETAFORCE™ 2850S IsoC AComp

#### 1.2 Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

**Usi identificati:** Un adesivo – Per applicazioni nel settore automobilistico.

#### 1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

**IDENTIFICAZIONE DELLA SOCIETÀ**  
SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL  
VIA ALBANI 85  
20148 MILANO  
ITALY

**Numero telefonico Servizio Assistenza Clienti:** 800-3876-8838  
SDSQuestion-EU@dupont.com

#### 1.4 NUMERO TELEFONICO DI EMERGENZA

**Numero telefonico di chiamata urgente attivo 24 ore su 24:** +(39)-0245557031  
**In caso di emergenze locali contattare:** +(39)-0245557031  
**telefono Centro Antiveneni Ospedale Niguarda (MI):** 02-66101029

### SEZIONE 2: IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

#### 2.1 Classificazione della sostanza o della miscela

**Classificazione secondo il Regolamento (CE) n° 1272/2008.**

Tossicità acuta - Categoria 4 - Inalazione - H332

Irritazione cutanea - Categoria 2 - H315

Irritazione oculare - Categoria 2 - H319

Sensibilizzazione delle vie respiratorie - Categoria 1 - H334

Sensibilizzazione cutanea - Categoria 1 - H317

Cancerogenicità - Categoria 2 - H351

Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola - Categoria 3 - H335



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL

Scheda di dati di sicurezza secondo il Regolamento UE n° 2015/830

Nome del prodotto: BETAFORCE™ 2850S Polc BComp

Data di revisione: 17.10.2018

Versione: 3.0

Data di stampa: 06.06.2019

SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL raccomanda di leggere con attenzione la Scheda di Sicurezza (SDS) del prodotto in ogni sua sezione. Il documento contiene informazioni importanti. L'azienda che riceve il documento dovrà seguire le precauzioni in esso identificate, salvo nel caso in cui le condizioni di uso presso l'azienda richiedano l'adozione di misure o azioni più adeguate, diverse da quelle descritte.

### SEZIONE 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

#### 1.1 Identificatore del prodotto

Nome del prodotto: BETAFORCE™ 2850S Polc BComp

#### 1.2 Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

Usi identificati: Un adesivo – Per applicazioni nel settore automobilistico.

#### 1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

**IDENTIFICAZIONE DELLA SOCIETÀ**  
SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS ITALY SRL  
VIA ALBANI 85  
20148 MILANO  
ITALY

Numero telefonico Servizio Assistenza Clienti: 800-3876-8838  
SDSQuestion-EU@dupont.com

#### 1.4 NUMERO TELEFONICO DI EMERGENZA

Numero telefonico di chiamata urgente attivo 24 ore su 24: +(39)-0245557031  
In caso di emergenze locali contattare: +(39)-0245557031  
telefono Centro Antiveneni Ospedale Niguarda (MI): 02-66101029

### SEZIONE 2: IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

#### 2.1 Classificazione della sostanza o della miscela

Classificazione secondo il Regolamento (CE) n° 1272/2008.  
Sostanza o miscela non pericolosa secondo la regolamentazione (CE) N. 1272/2008.

#### 2.2 Elementi dell'etichetta

Etichettatura secondo il regolamento (CE) n° 1272/2008 [CLP/GHS]:  
Sostanza o miscela non pericolosa secondo la regolamentazione (CE) N. 1272/2008.