

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

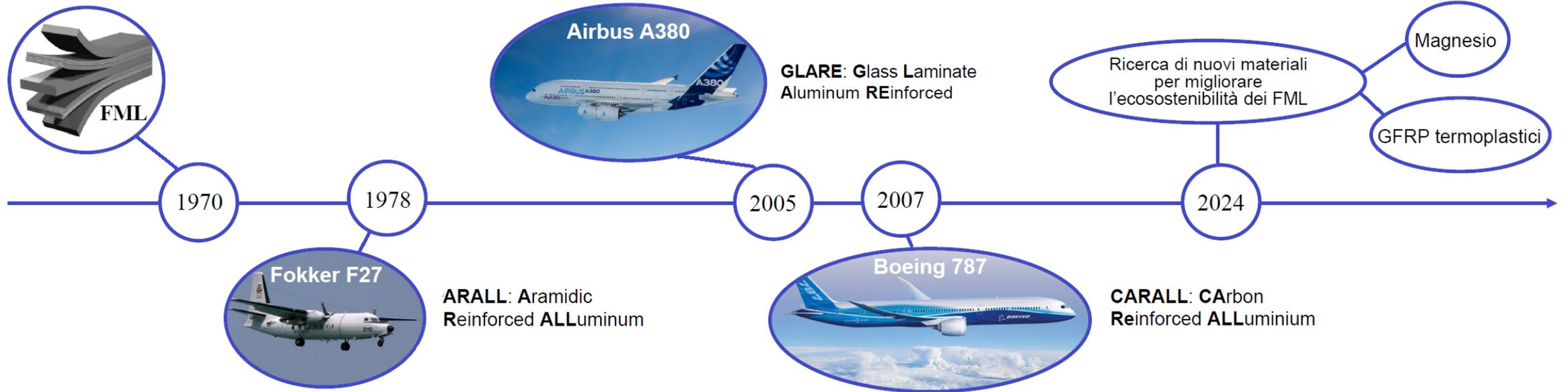
**Analisi dell'effetto di diversi trattamenti superficiali e del tipo di
matrice polimerica sulla resistenza interfacciale dei
laminati fibra-metallo prima e dopo la foratura**

Relatore: Prof. Rachele Bertolini

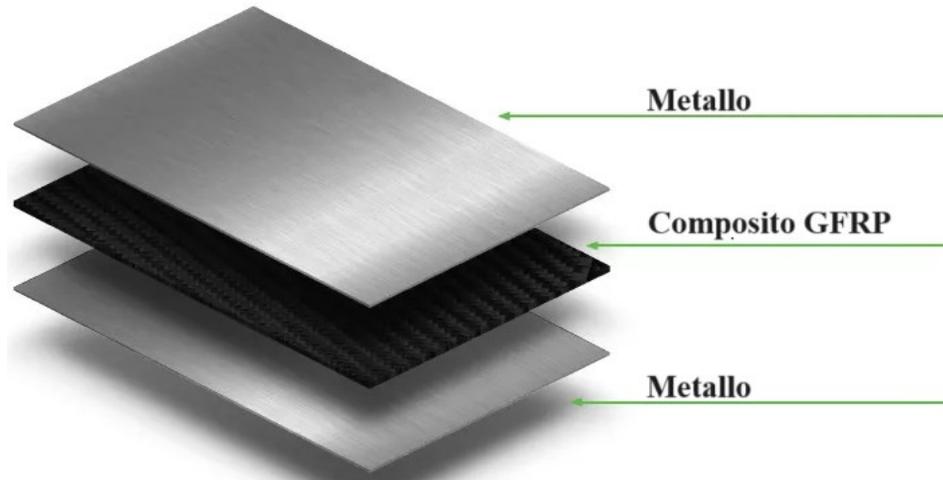
Laureando: Andrea Frison

Matricola: 2005112

Padova, 26/09/2024



FML: Fiber Metal Laminates



VANTAGGI:

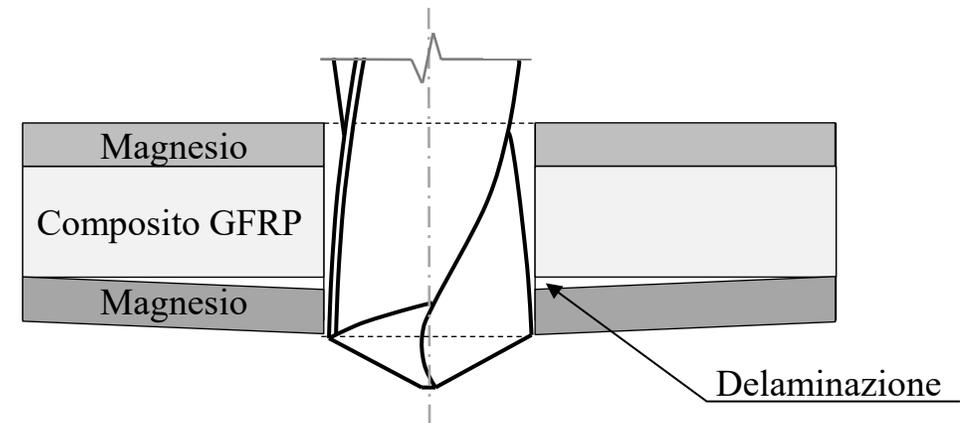
- Leggerezza
- Tempi di produzione ridotti
- Ottima resistenza agli impatti
- Ecosostenibilità

SVANTAGGI:

- Rischio di delaminazione



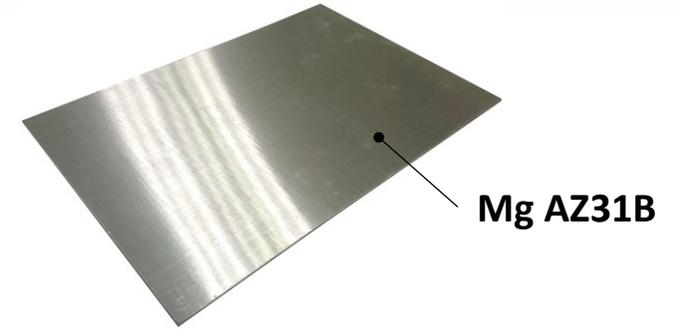
- L'**adesione** tra i vari elementi del sandwich è **cruciale per garantirne la resistenza**
- Il metodo di assemblaggio più diffuso per i pannelli di FML è la **foratura**, la quale però **genera delle forze che inducono la delaminazione del composito**.



L'obiettivo del lavoro è **analizzare l'effetto di diversi trattamenti superficiali e del tipo di matrice polimerica sulla resistenza interfacciale dei laminati fibra-metallo prima e dopo la foratura**

I materiali utilizzati in questo lavoro sono:

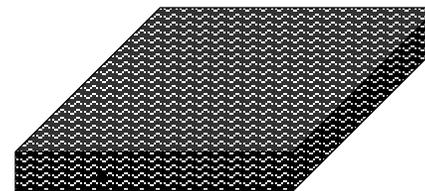
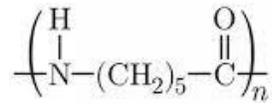
- Lega di magnesio AZ31B → Maggiore leggerezza rispetto all'alluminio



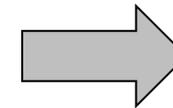
- Plastiche termoindurenti fibro-rinforzate
 - Migliore resistenza agli urti rispetto alle resine epossidiche
 - Processo produttivo veloce

- PA6:

- Temperatura di fusione: 220°C



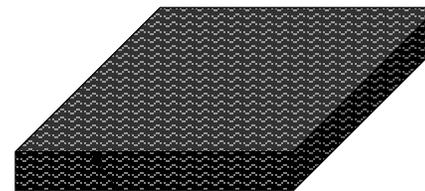
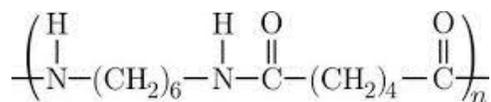
PA6-GFRP



La temperatura di fusione del PA66 è maggiore di quella del PA6, questo garantisce una resistenza termica maggiore a favore del PA66

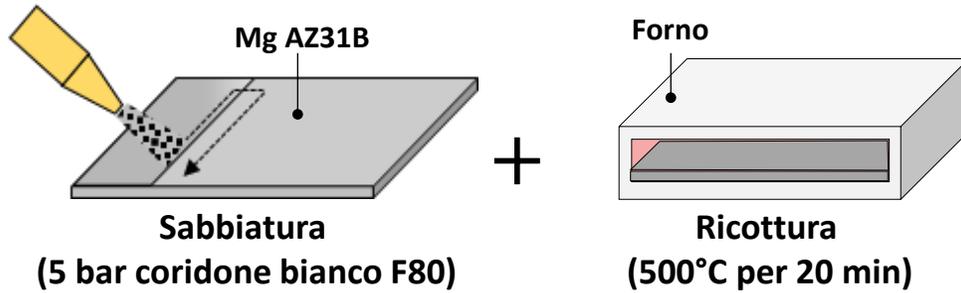
- PA66:

- Temperatura di fusione: 265°C
- Minore sensibilità all'umidità rispetto al PA6



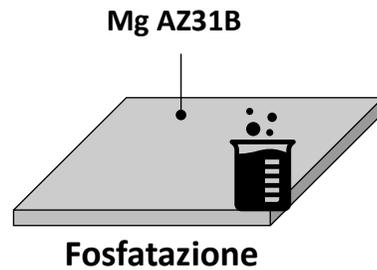
PA66-GFRP

SA



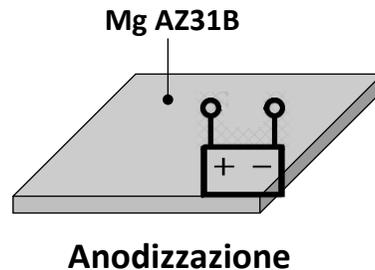
- La sabbiatura aumenta la rugosità superficiale
- La ricottura crea uno strato di ossido poroso

P



- La fosfatazione aumenta la rugosità superficiale e la bagnabilità, favorendo l'incollaggio tra metallo e materiale termoplastico

A

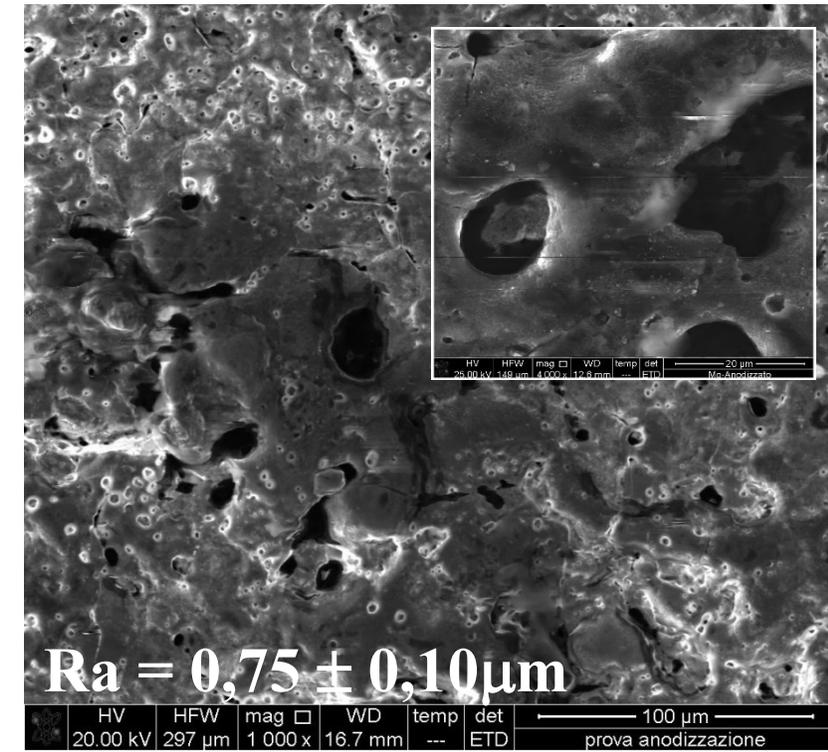
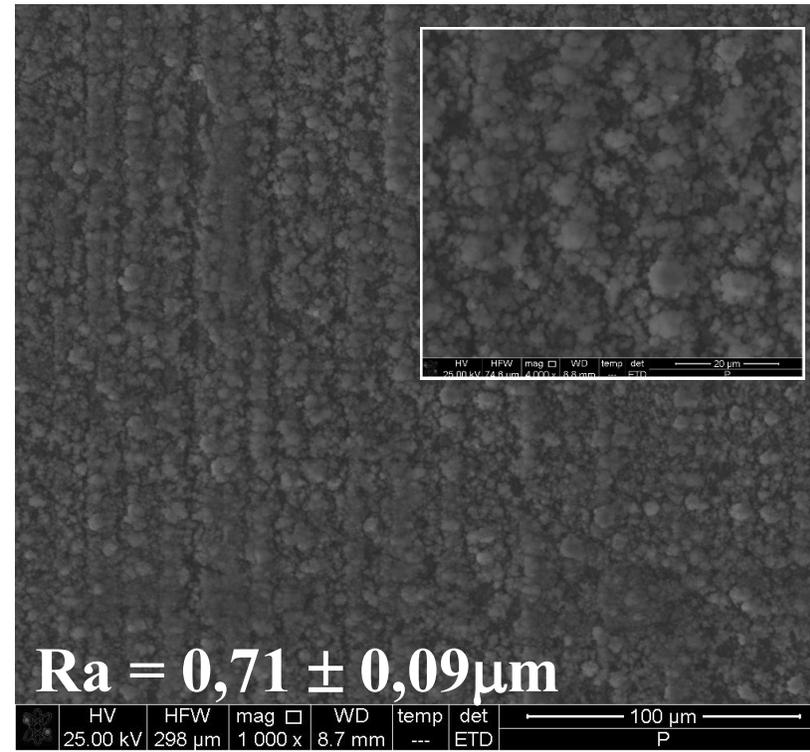
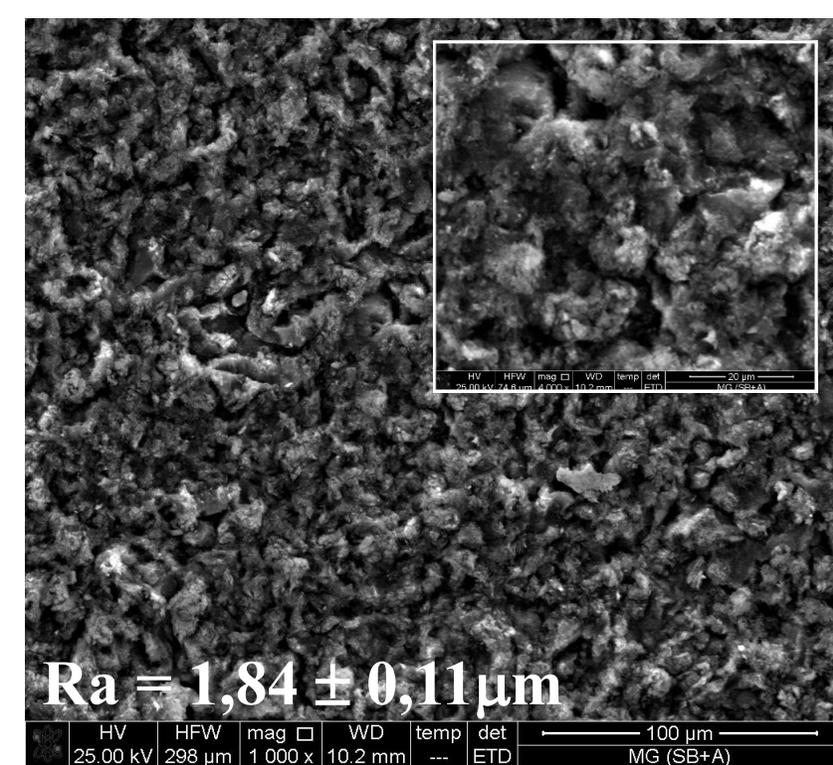


- L'anodizzazione aumenta la rugosità superficiale creando un strato di ossido poroso e irregolare che favorisce l'adesione

SA: Sabbiatura e Ricottura

P: Fosfatazione

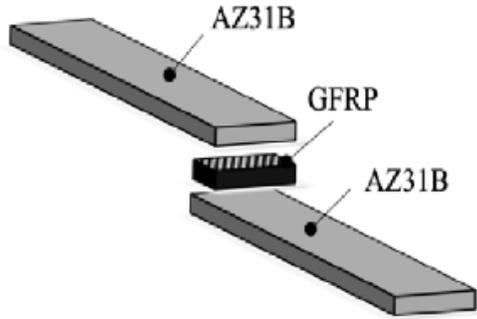
A: Anodizzazione



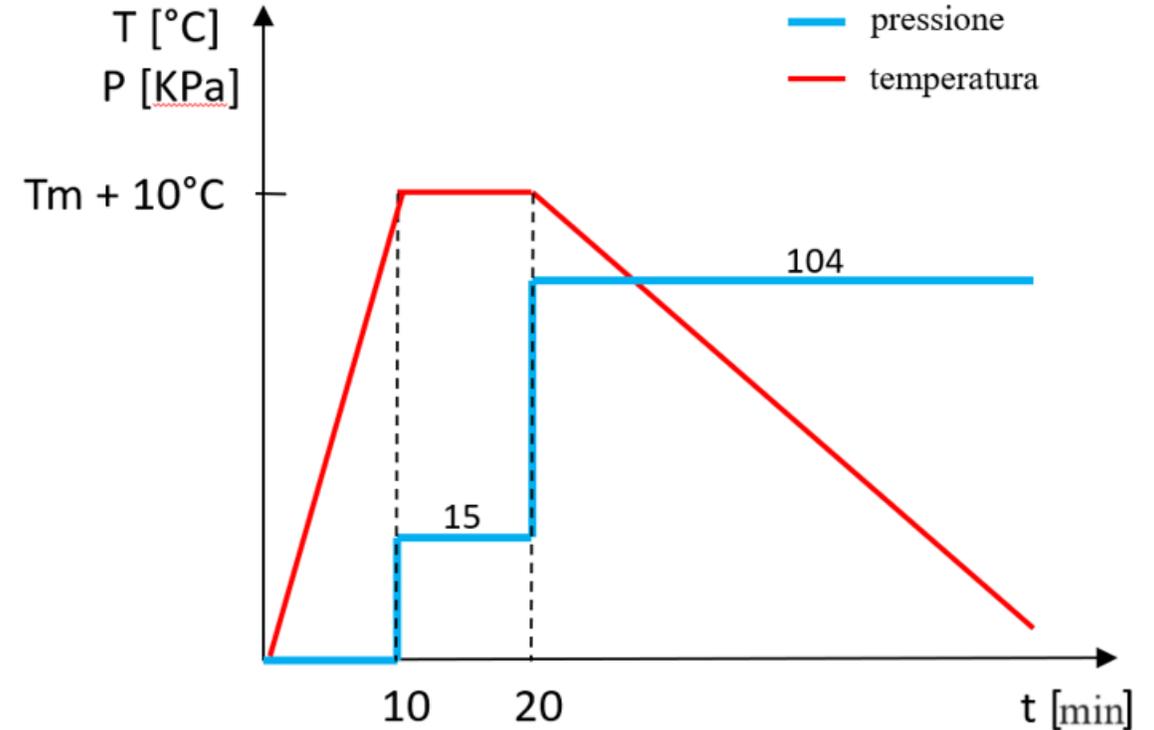
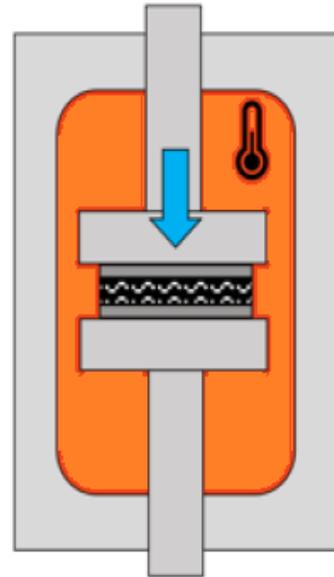
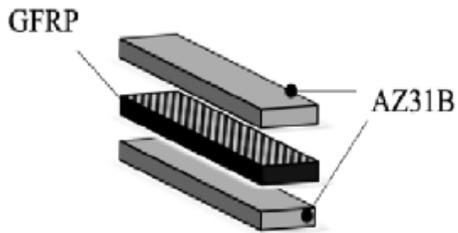
Morfologia superficiale della lega di magnesio AZ31B a seguito di diversi trattamenti superficiali

Hot Metal Pressing (HMP)

Provino per lap shear test 12,5x25mm

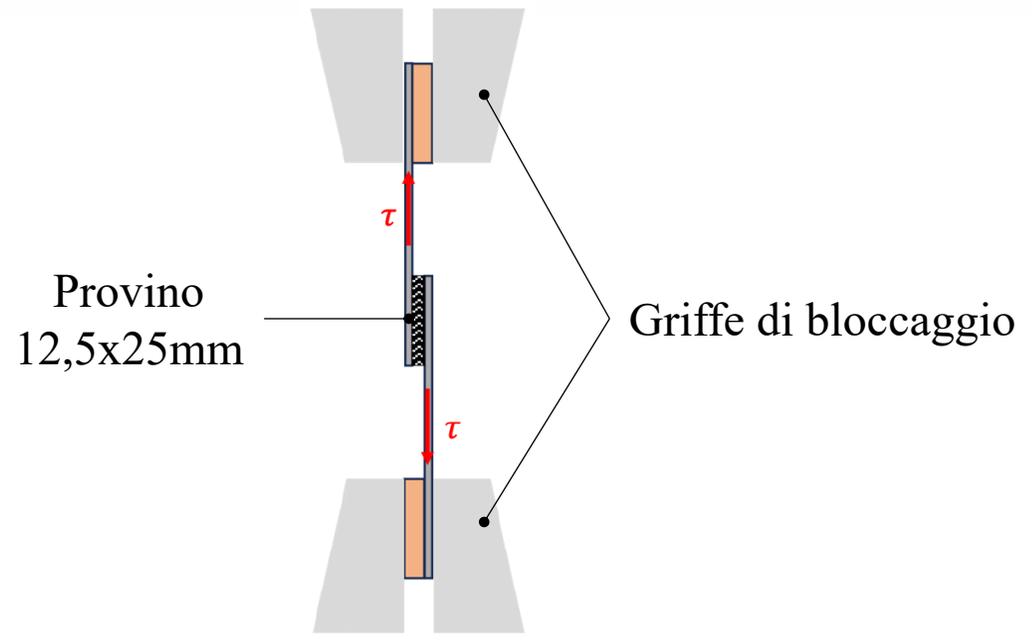
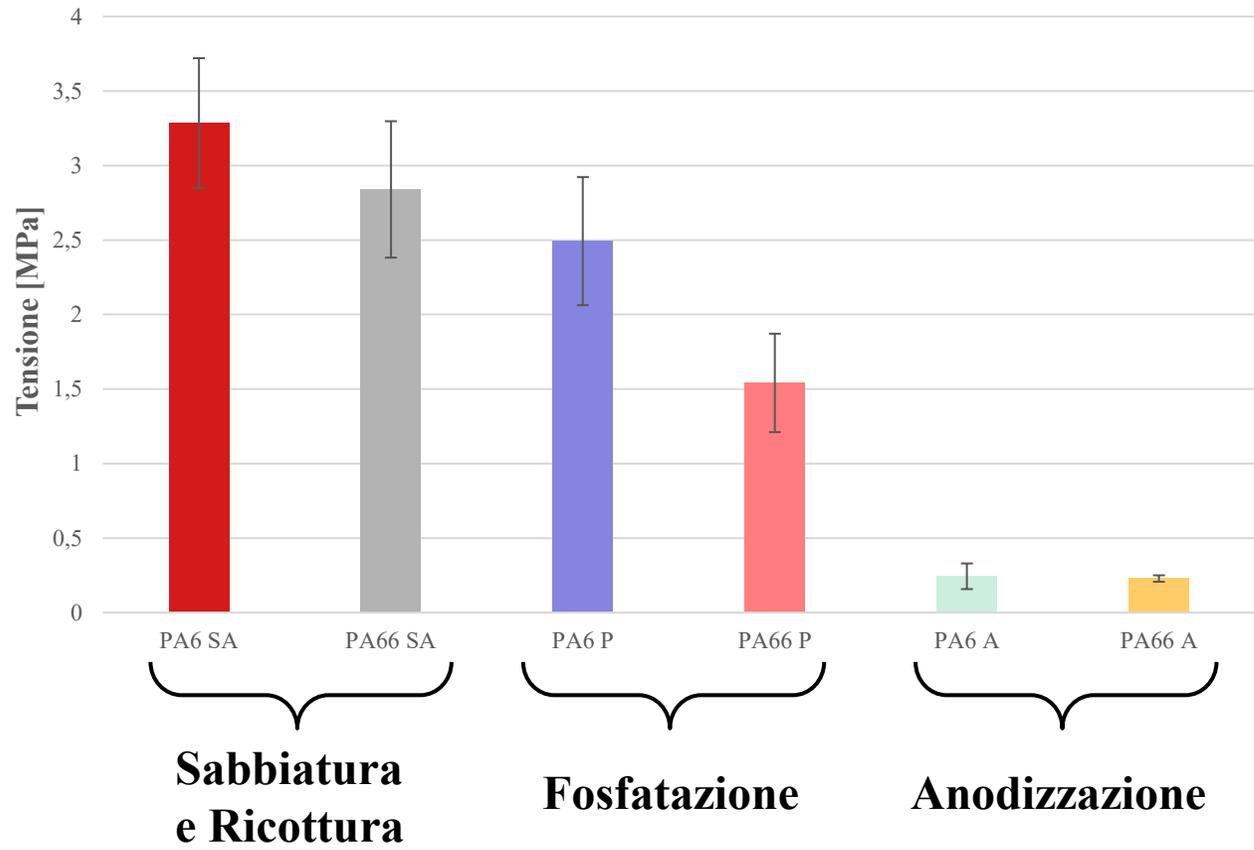


Provino per test di foratura 90x20mm

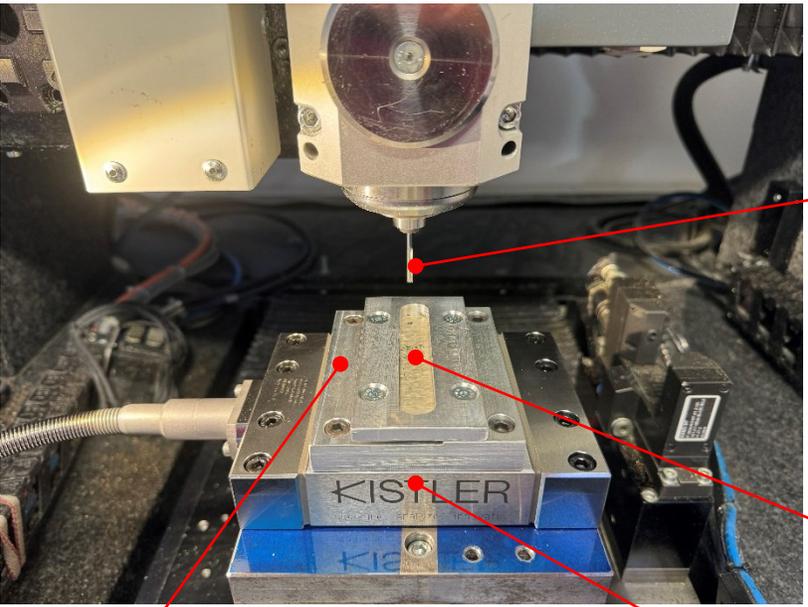


- Combinazione di calore e pressione per creare una giunzione tra metallo e polimero fibro-rinforzato
- Tempi di produzione ridotti rispetto all'utilizzo di resine epossidiche
- Dopo dieci minuti dall'inserimento nel forno viene applicato un carico iniziale di 15 kPa al provino. Dopo ulteriori 10 minuti il provino e il carico iniziale vengono tolti dalla camera climatica e posizionati in un ambiente a temperatura costante di 20°C , applicando un'ulteriore pressione di 89 kPa, ottenendo così un carico totale di 104 kPa.

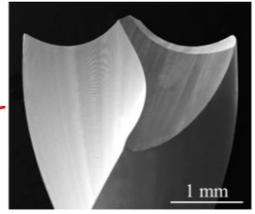
Test di resistenza al taglio



- Il trattamento **SA** risulta essere quello con la migliore adesione tra Magnesio e polimero fibro-rinforzato
- Il trattamento di **Anodizzazione** mostra una scarsissima adesione tra i materiali
 → Per questo motivo si è deciso di escludere questo trattamento e di procedere con i test per i soli trattamenti SA e P



Punta 3mm Spur



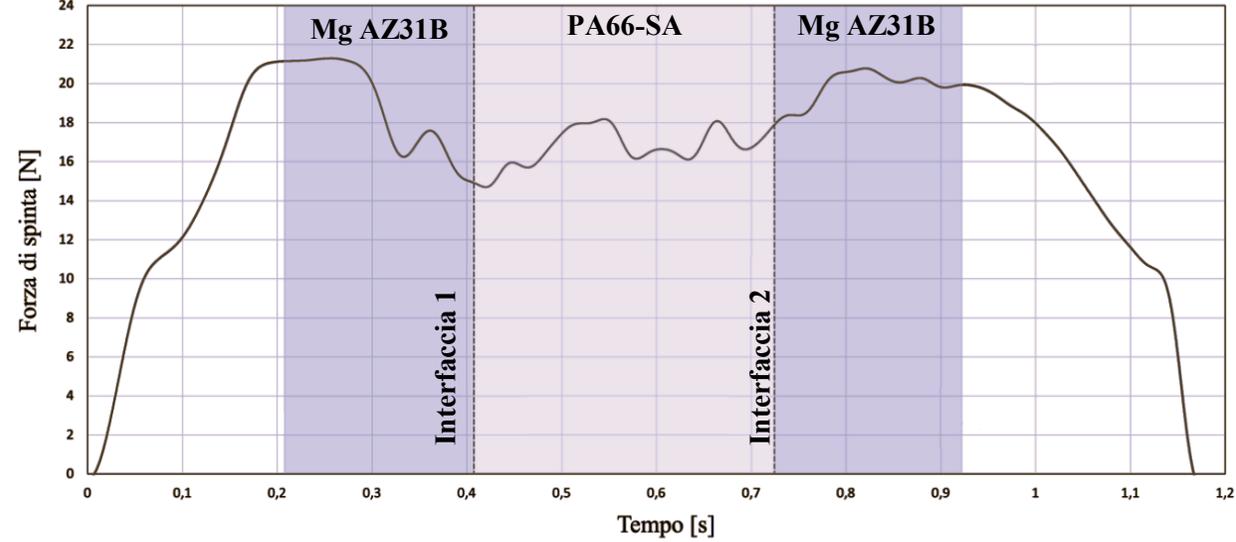
$V_c = 60$ m/min
 $f_n = 0.03$ mm/giro

Provino
90x20mm

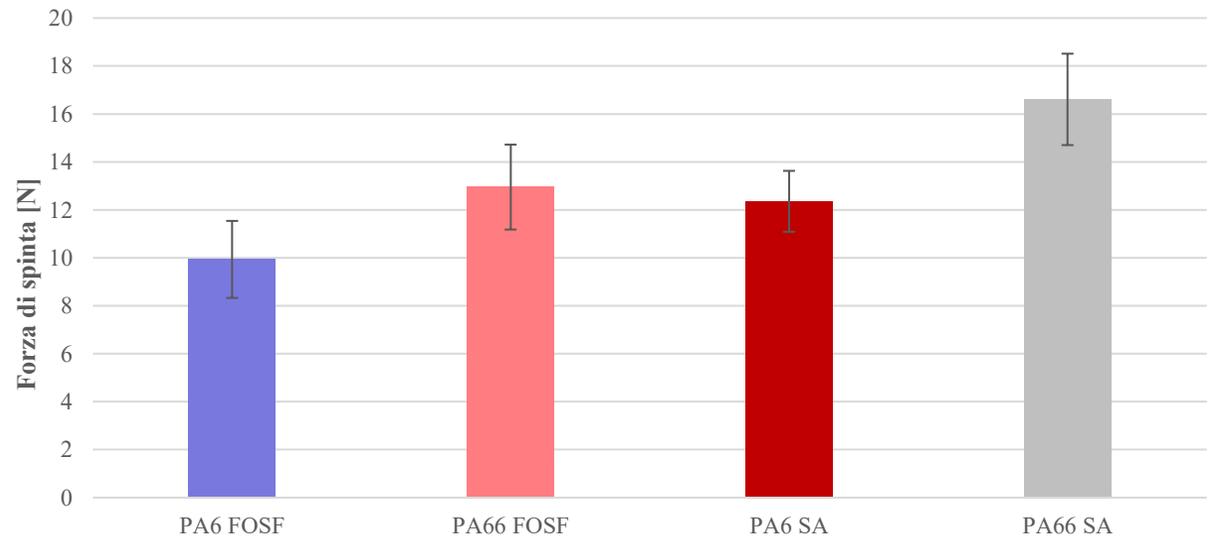
Setup di foratura

Dinamometro

Forza di spinta in funzione del tempo di foratura PA66-SA



Forza di spinta media all'interfaccia metallo-composito



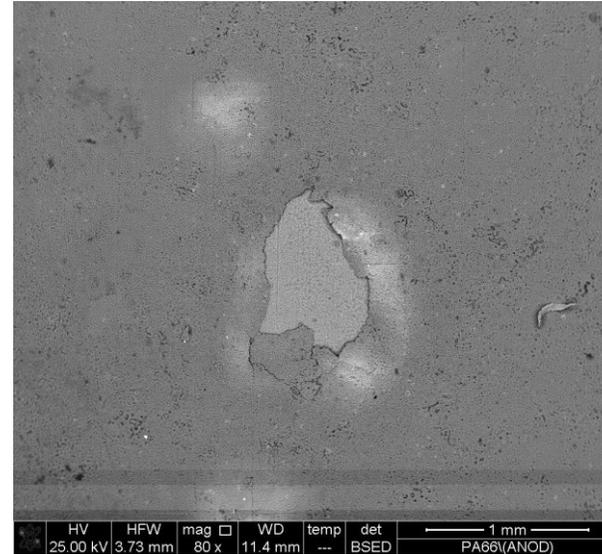
- Durante il processo di foratura, i compositi con matrice PA66 mostrano una forza maggiore all'interfaccia rispetto ai compositi con matrice PA6

→ Questo avviene poiché durante la foratura si innalzano le temperature e il PA66 ha una temperatura di transizione vetrosa più elevata rispetto al PA6

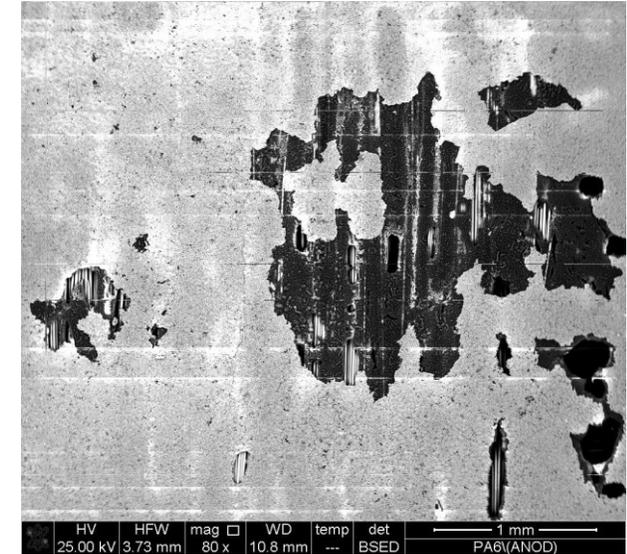
$T_{gPA66}: 65^{\circ}C$

$T_{gPA6}: 55^{\circ}C$

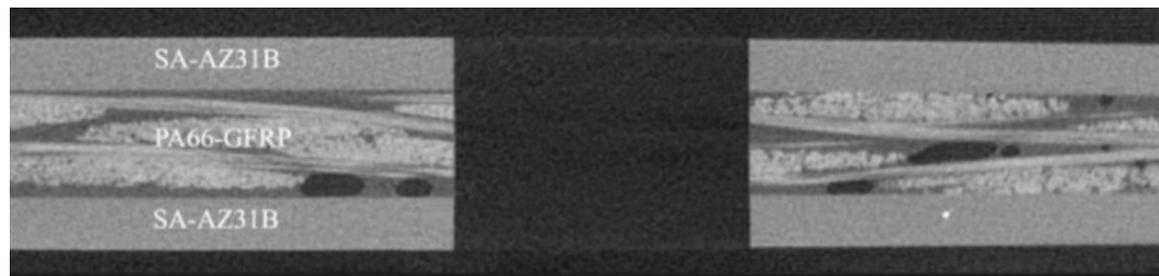
- Nel trattamento A, uno strato di Anodizzazione è rimasto attaccato al polimero
 - ➔ **Ottima adesione polimero-anodizzazione**
 - ➔ **Bassa resistenza dell'Anodizzazione stessa**
 - ➔ **La rottura è avvenuta nello strato di Anodizzazione**
- L'utilizzo di una **punta Spur** e di parametri di foratura adeguati ha permesso di ottenere dei **fori che non presentano delaminazione**
- Combinare una **matrice polimerica ad alta resistenza termica (PA66)** con un trattamento di **Sabbiatura con Ricottura** assicura una **maggiore integrità strutturale del laminato**.



Distacco di porzioni di Anodizzazione sulla superficie del Magnesio dopo Lap Shear Test



Strato di Anodizzazione attaccato al polimero dopo Lap Shear Test



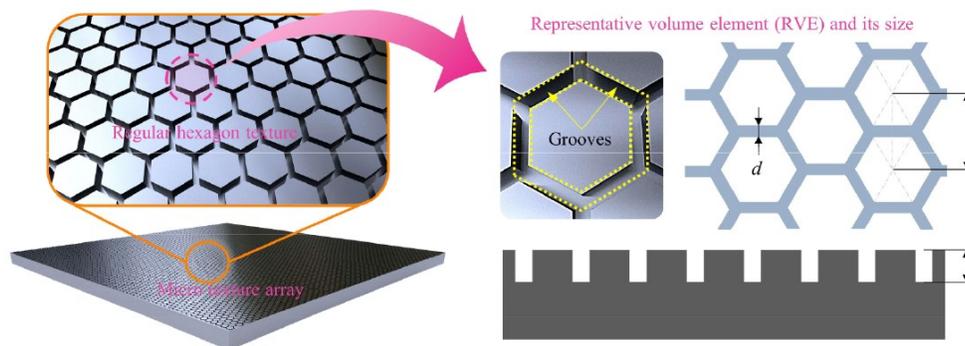
Possibili sviluppi futuri per migliorare l'adesione interfacciale

Migliorare l'Anodizzazione



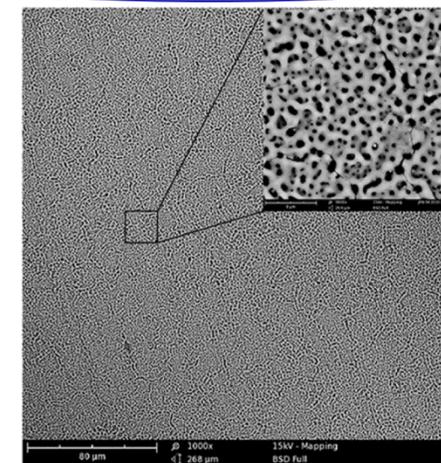
Da letteratura l'Anodizzazione dovrebbe fornire performance superiori
 → Probabilmente questo è dovuto a un'inesatta soluzione elettrolitica o a una corrente elettrica inadeguata per il Magnesio
 → Si potrebbe ripetere il test con una differente formula di Anodizzazione

Laser Texturing



La superficie del metallo viene incisa con un laser imprimendo un micro motivo geometrico
 → Aumenta rugosità
 → Migliora l'adesione
 → Maggiore ecosostenibilità

Micro Arc Oxidation (MAO)



Tattamento promettente emerso negli ultimi anni
 → Forma strato di ossido duro, poroso e denso
 → Migliora l'adesione all'interfaccia
 → Trattamento complesso a causa del rapido aumento di temperatura

Grazie per l'attenzione