

# Processo produttivo di un cerchione in composito ambito automotive

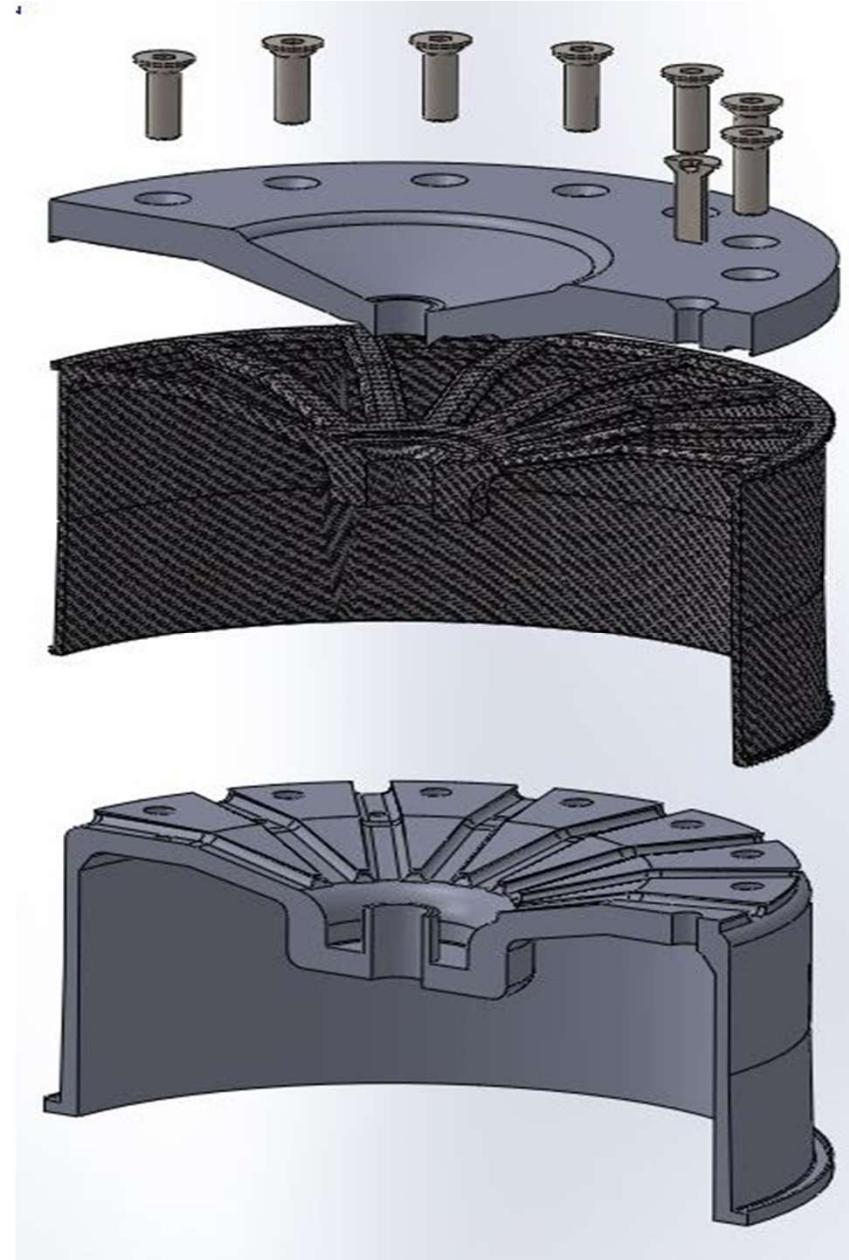
---

A cura di:

Cucchiarini Giovanni

Ilic Nenad

Ramazzotti Leonardo



COMMessa	
N. UNITA'	4000
TECN. DI PROD.	Prepreg e cura in Autoclave / HP-RTM

Indice Analitico.

#### - Processo con Prepreg e Autoclave

- Creazione stampo.
- Scelta dei materiali e sequenza di laminazione.
- Preparazione Vacuum bag.
- Cura in autoclave.
- Finitura.

#### - Processo con HP-RTM

- Definizione geometrie Stampo e Pressa
- Scelta Fibre e Resina
- Processo Produttivo
- Finitura



# Sollecitazioni sul pezzo

Per definire la scelta dei materiali e la sequenza di laminazione dobbiamo considerare le sollecitazione a cui il pezzo è sottoposto. Trascurando la geometria delle sospensioni, la loro escursione e la campanatura delle gomme, che creerebbero dei momenti flettenti uscenti dal foglio, possiamo suddividere le sollecitazioni in 3 aree.

I raggi sono soggetti a compressione ciclica(bukling), dettata dalla rotazione del mozzo, che induce, con l'attrito, ad una componente torsionale; mentre l'anello è caricato a trazione.

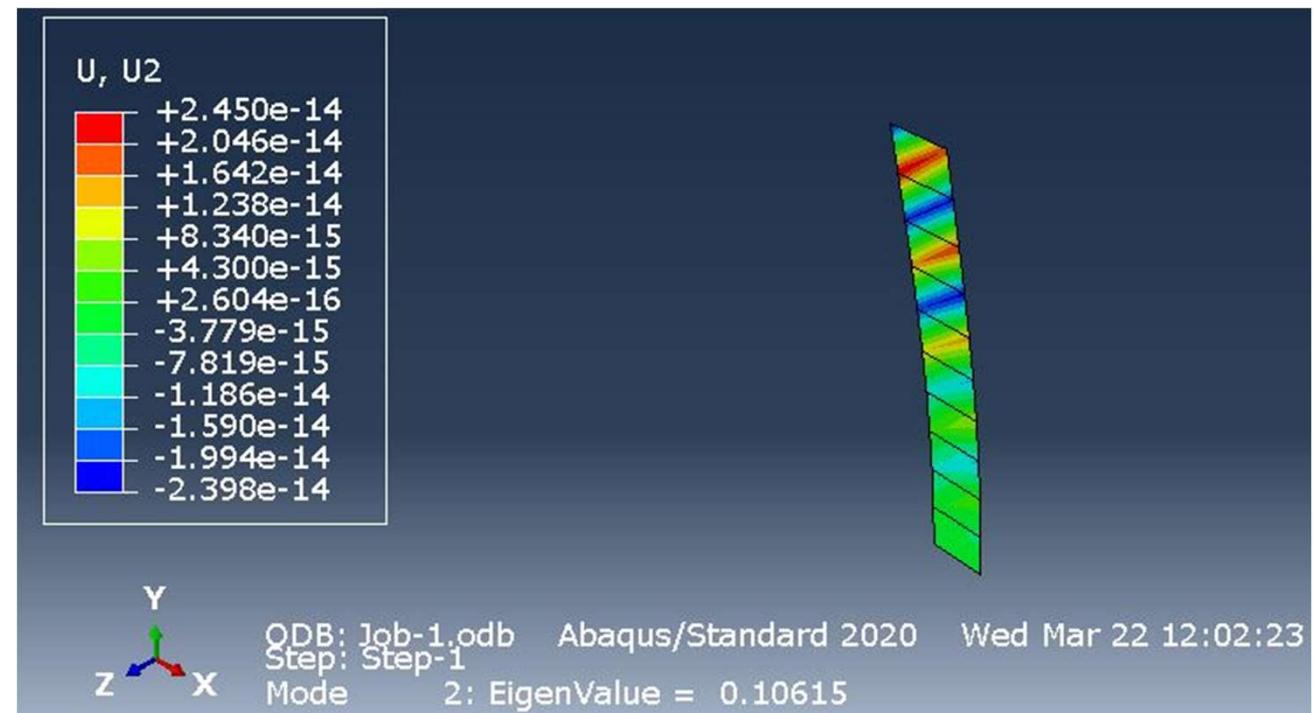


Fig. Lay-up del raggio testato a buckling con l'uso di Abacus.

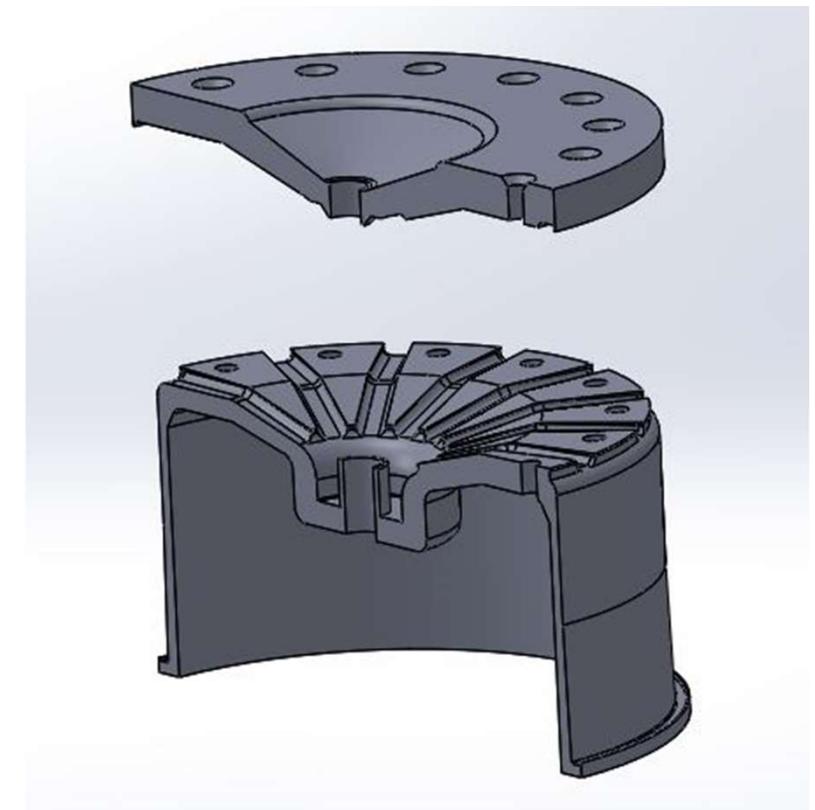
# Prepreg & Autoclave

## Creazione dello stampo

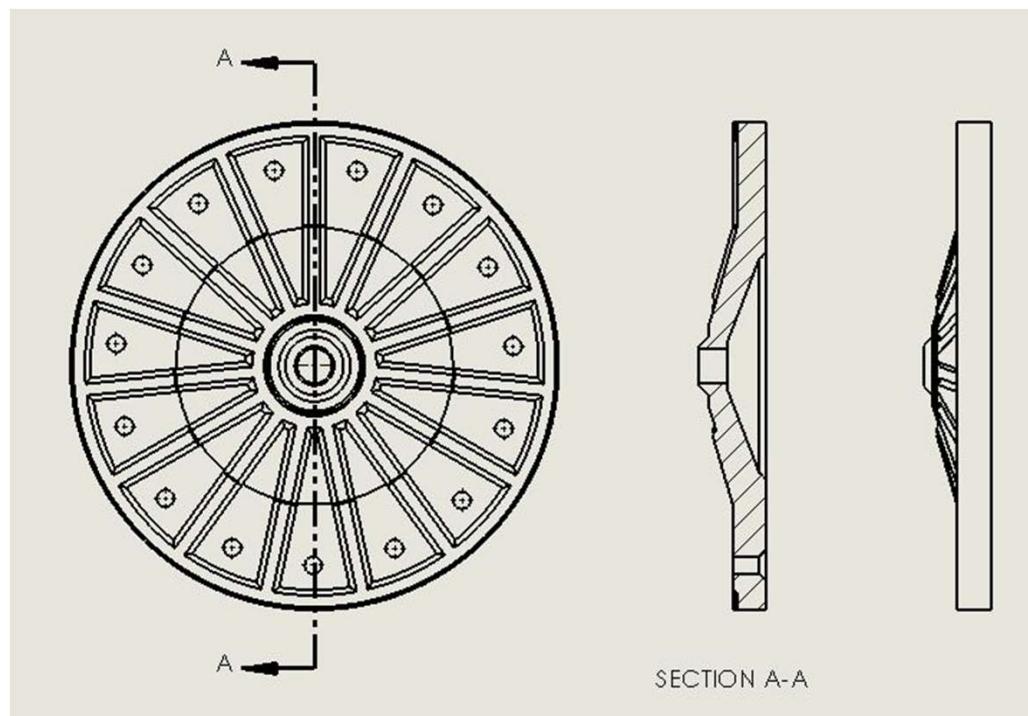
Tipo in acciaio	Standard	Prefisso internazionale	C(%)	Cr(%)	Mo(%)	V(%)
1.2379	-	DIN	1.55	12,0	0,80	0,90

Per la realizzazione della commessa è stato scelto uno stampo in acciaio ,in quanto l'elevato volume produttivo richiede un ciclo vita dello stampo superiore a quello in composito e ci permette di beneficiare dell' ottima precisione dimensionale e rugosità.

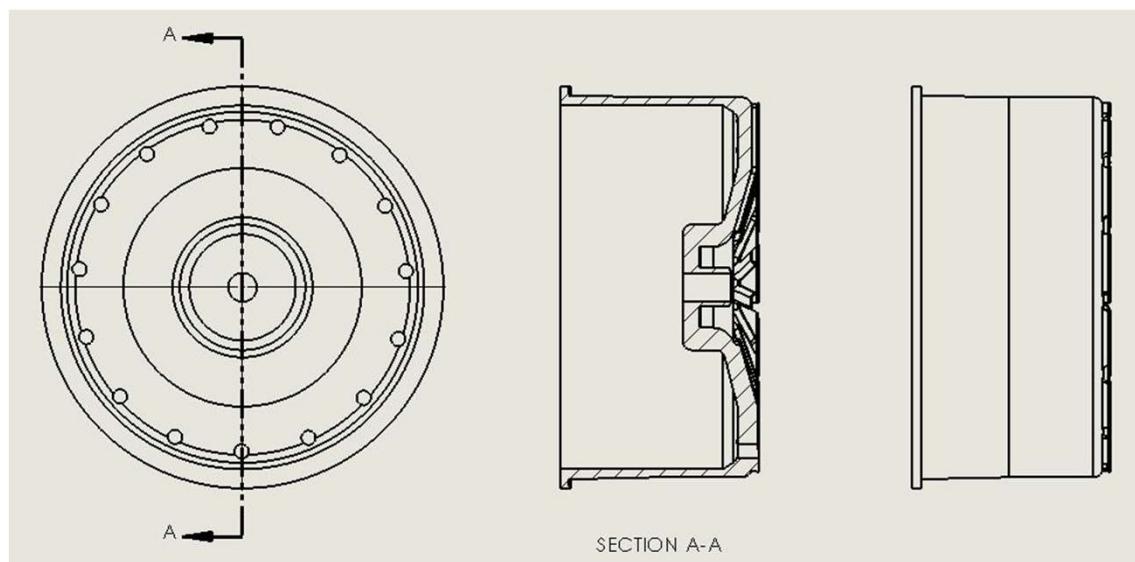
Lo stampo è stato suddiviso in due parti (stampo e controstampo), partendo da un cilindro svuotato e un disco. Le due parti sono poi state fresate per ottenere il negativo dell'oggetto da produrre e, successivamente, sgrossate.



# Creazione dello stampo

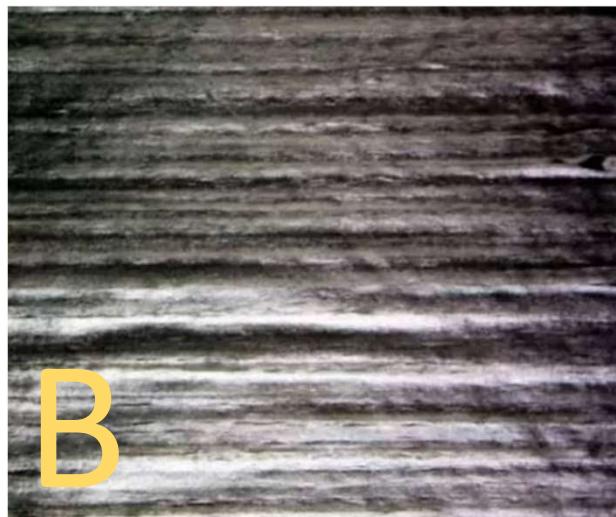


Inoltre, per ottenere un ottima finitura, abbiamo deciso di un ciclo di trattamento termico sottovuoto (tempra e rinvenimento) per rinforzare la struttura molecolare del pezzo e aumentarne il più possibile il ciclo vita. Lucidatura manuale per finire.



# Scelta dei materiali e sequenza di laminazione

Con queste informazioni abbiamo individuato i seguenti materiali:



Source: Castrocomposites

PREPREG	TIPO	GRAMMATURA	T. CURA (*C)	E(Gpa)	Yeld str. (MPa)	FIG.
<b>MTC510-C200T</b>	TWILL 2X2 3K	200	80-120	55.1	521	A
<b>MTC510-UD300</b>	UNID. 24K	300	80-120	50	666	B
<b>VTC401-C650T</b>	TWILL 2X2 12K	650	65-120	65		C

# Scelta dei materiali e sequenza di laminazione

Tutti i lay-up utilizzati risultano bilanciati, al fine di evitare la creazione di tensioni interne al laminato durante il ciclo di cura (visto l'ingente spessore) che possono portare alla creazione di delaminazioni interne o grinze.

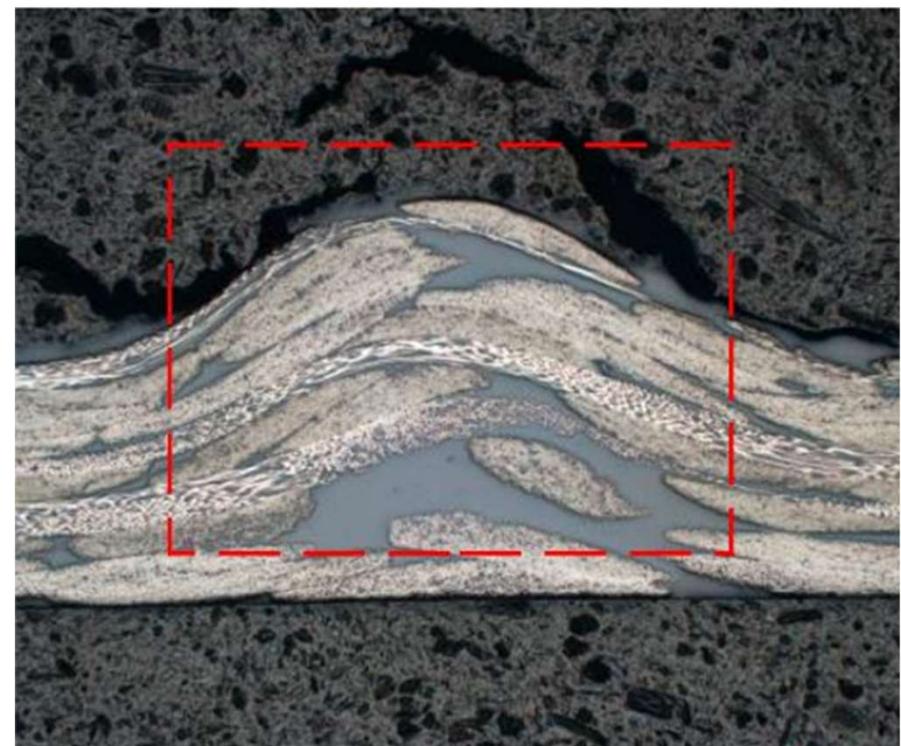
Per calcolare il modulo di Young del laminato , abbiamo usato la seguente equivalenza:

$$E_{11\text{lam}} = E_{11}t_{\%0} + E_{12}t_{\%45F}$$

Con ,

$$t_{\%} = \frac{\text{numero di ply paralleli alla dir. considerata}}{\text{ply totali}}$$

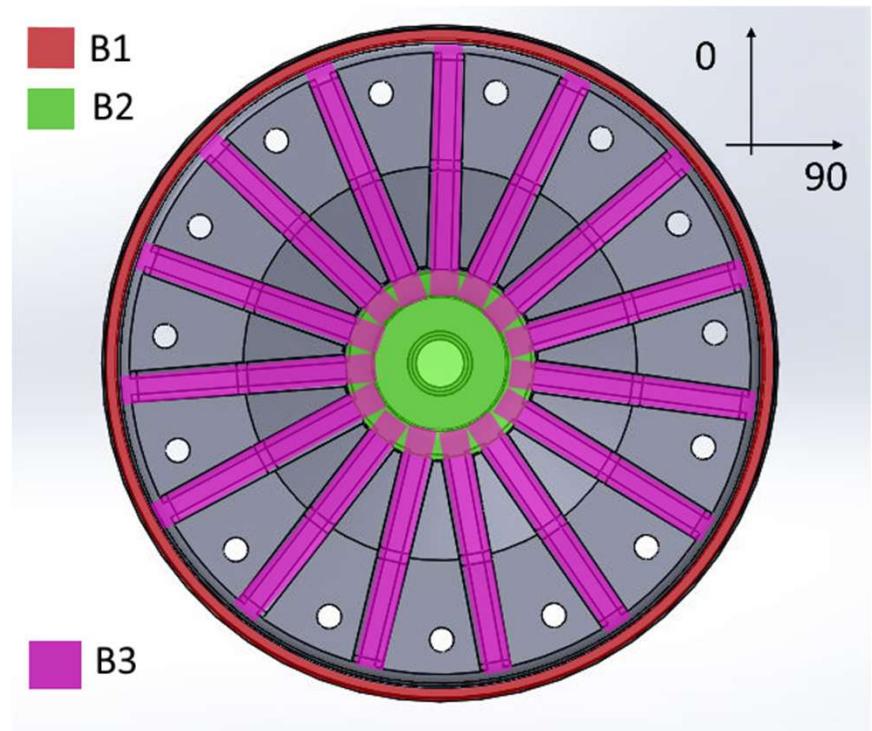
Source: Google.com



Grinza microscopica 25X

# Scelta dei materiali e sequenza di laminazione

Plybook Completo :

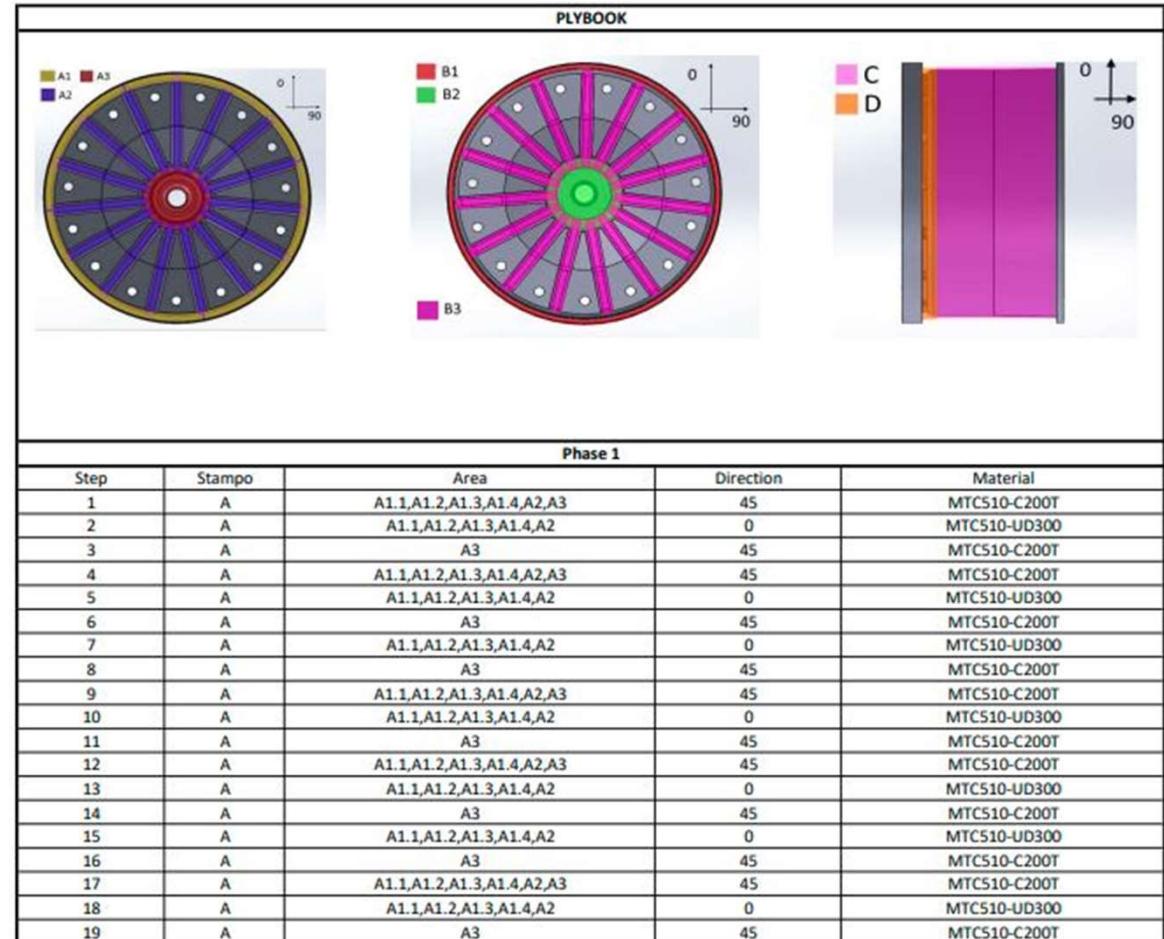


# Scelta dei materiali e sequenza di laminazione

Sulla base di quanto detto prima e del datasheet dei preimpregnati usati abbiamo definito una sequenza di laminazione che comprende 192 passaggi divisi in 3 fasi e un debulk. Questa può essere riassunta nelle seguenti fasi principali.

- Laminazione Controstampo (A).
- Debulk Controstampo .
- Laminazione parte frontale dello stampo(B).
- Unione stampo e controstampo.
- Laminazione Profilo Circolare(C-D).

Dopo la fase di Nesting e la creazione del plybook si passa allo studio del sacco a vuoto per la cura in autoclave.



# Preparazione del Vacuum Bag

Per il sacco a vuoto, al fine di evitare intoppi, abbiamo deciso di utilizzare materiali con una temperatura di esercizio superiore di almeno il 20% di quella della cura del preimpregnato.

PRODOTTO	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE	TEMP. EX. (°C)	DEF. A ROTT.	COLORE	PESO
Securlon V45	Sacco	Multilayer	171	400%	Trasl. Purple	/
Airwave N4	Breather	Medium weight non-woven polyester breather/bleeder	204	/	/	140 g/m
GS-100	Butile	/	191	/	Reddish brown	/
VAC VALVE 200	Valvola	Two-piece vacuum valve for reusable vacuum bag applications	232	/	/	/
AIRFLOW 65R	Tubo del vuoto	Female threaded (AQD 500TF)	232	/	/	/



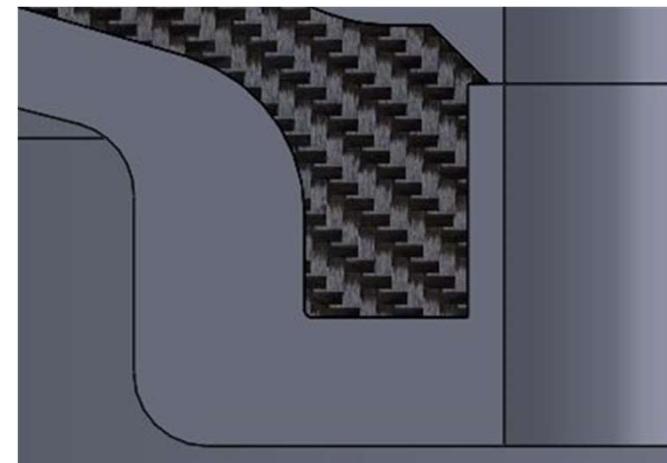
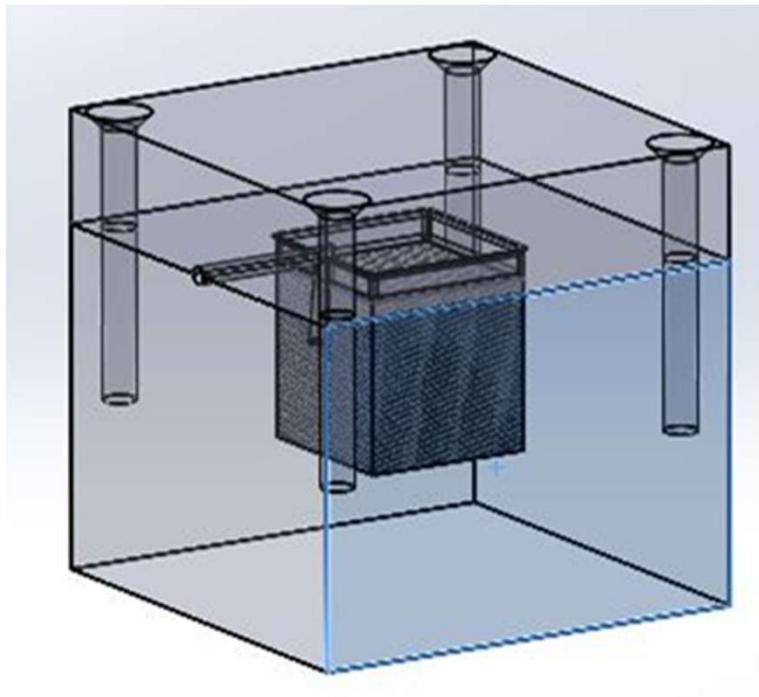
Source: Google.com

# Ciclo di Cura

## Simulazione e Controllo.

Vista la difficoltà a stabilire il ciclo di cura a causa della geometria e dell'inerzia termica dello stampo in acciaio, è stato deciso di usare un provino (o "dummy") con l'ausilio di una termocoppia.

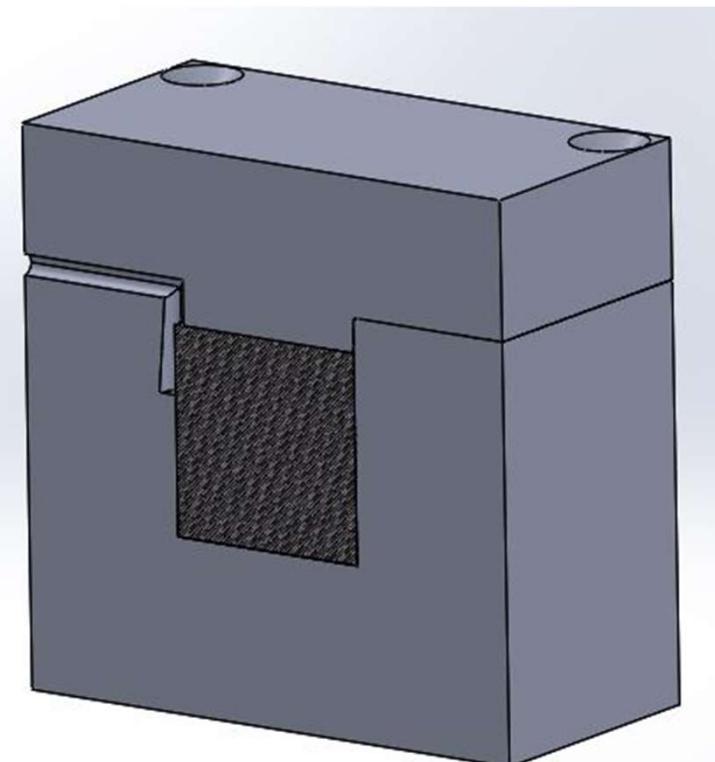
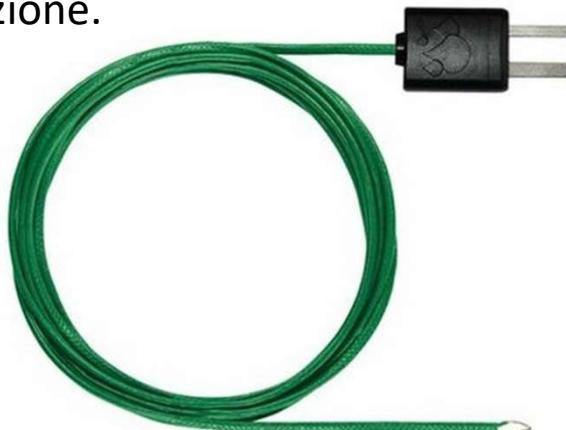
Quest'ultimo è stato progettato per analizzare il punto più critico presente sullo stampo;  
Infatti è stata utilizzata la stessa sequenza di laminazione tale da garantire la formazione di un cubo di 30 mm e uno stampo con spessori identici a quelli presenti sull'attacco del mozzo del cerchione.



# Ciclo di Cura

## Simulazione e Controllo.

Lo stampo per il provino ha anche un canale per la termocoppia, che verrà utilizzata, oltre che per i test, anche come copia controllo durante la produzione dei pezzi; in quanto il posizionamento di una termocoppia nello stampo del componente non era possibile senza incorrere in falsificazione dei dati o possibile delaminazione.



# Ciclo di Cura

## Temperatura.

Da alcuni cicli di cura simulati con il provino, abbiamo deciso di suddividere il ciclo di cura in cinque fasi:

- Fase 0: Inizio cura a temperatura ambiente.
- Fase 1: Riscaldamento iniziale con un gradiente di 2 °C/min. Temperatura finale di 80 °C al fine di iniziare il riscaldamento dello stampo.
- Fase 2: Mantenimento della temperatura per 60 minuti, al fine di riscaldare lo stampo rallentando il più possibile la reticolazione della resina (6% di cura a fine fase).
- Fase 3: Aumento con gradiente di 2 °C/min per raggiungere la temperatura massima di cura .
- Fase 4: Mantenimento della temperatura massima di cura al fine di reticolare interamente la resina (94% di cura a fine fase).
- Fase 5 : Scarico autoclave.



# Ciclo di Cura

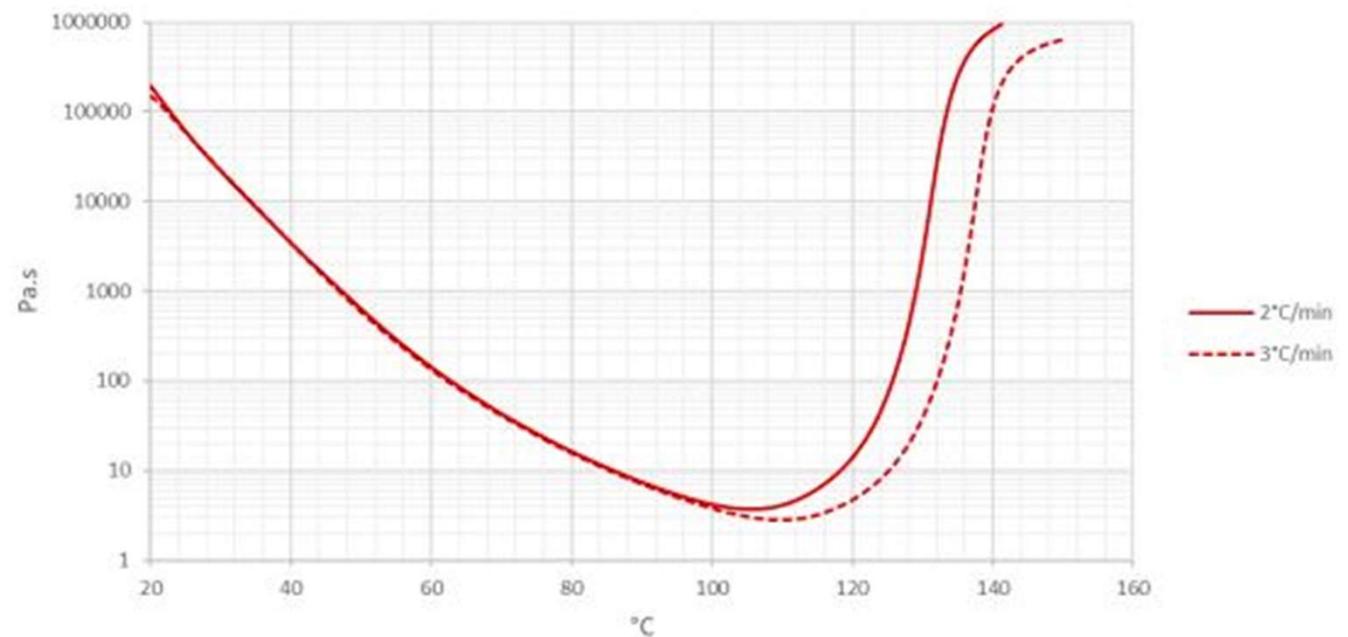
## Viscosità della resina.

Osservando il grafico della viscosità della resina, si evince che questa presenta nella fascia di temperatura tra 80°C e i 120°C la sua viscosità minima.



Viscosity Profile

Testing carried out using a rotational rheometer.

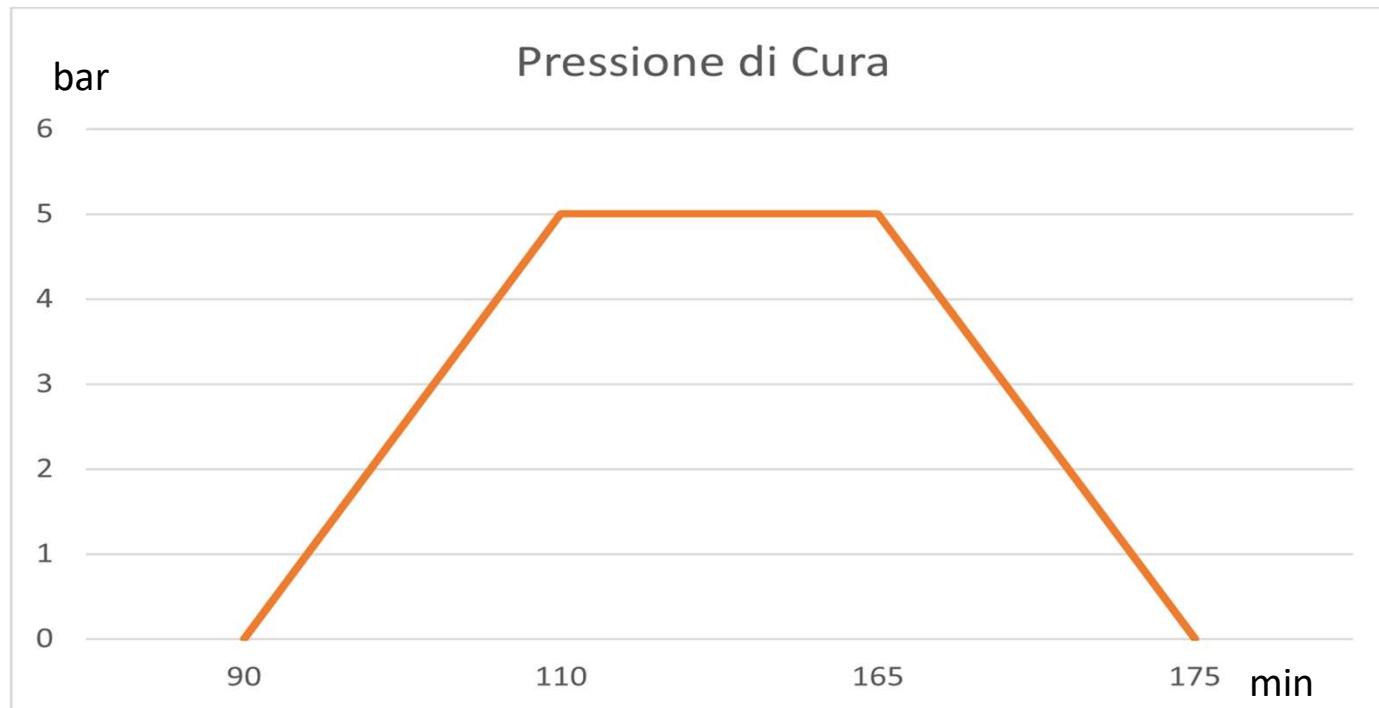


# Ciclo di Cura

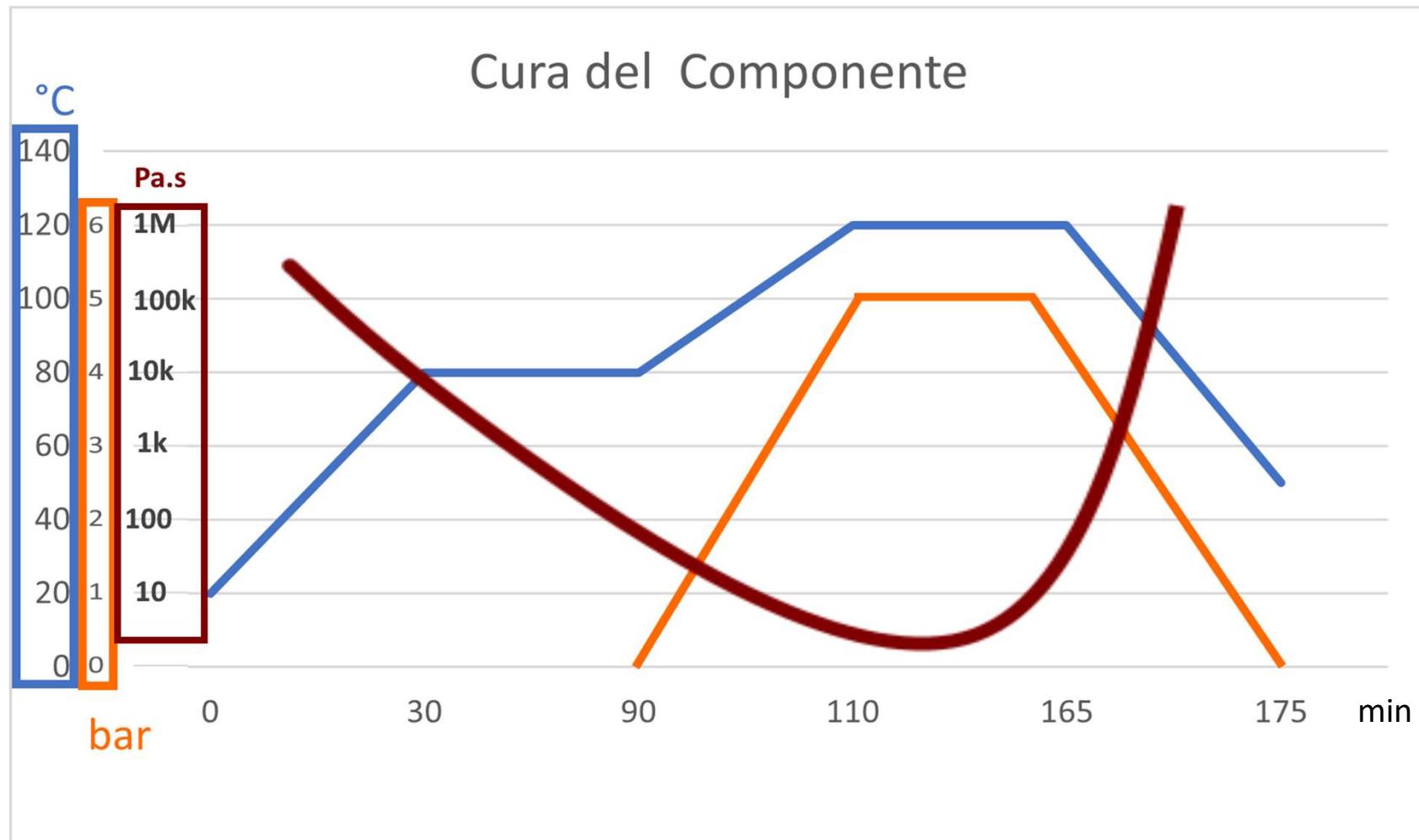
## Pressione.

Abbiamo deciso di sfruttare questo range di temperatura per mettere in pressione l'autoclave e raggiungere i 5 bar in concomitanza con la fase 3, ovvero quella principale di cura.

Attuando questa procedura, vado a far aderire meglio la resina allo stampo sfruttandone la minore viscosità.



# Ciclo di Cura



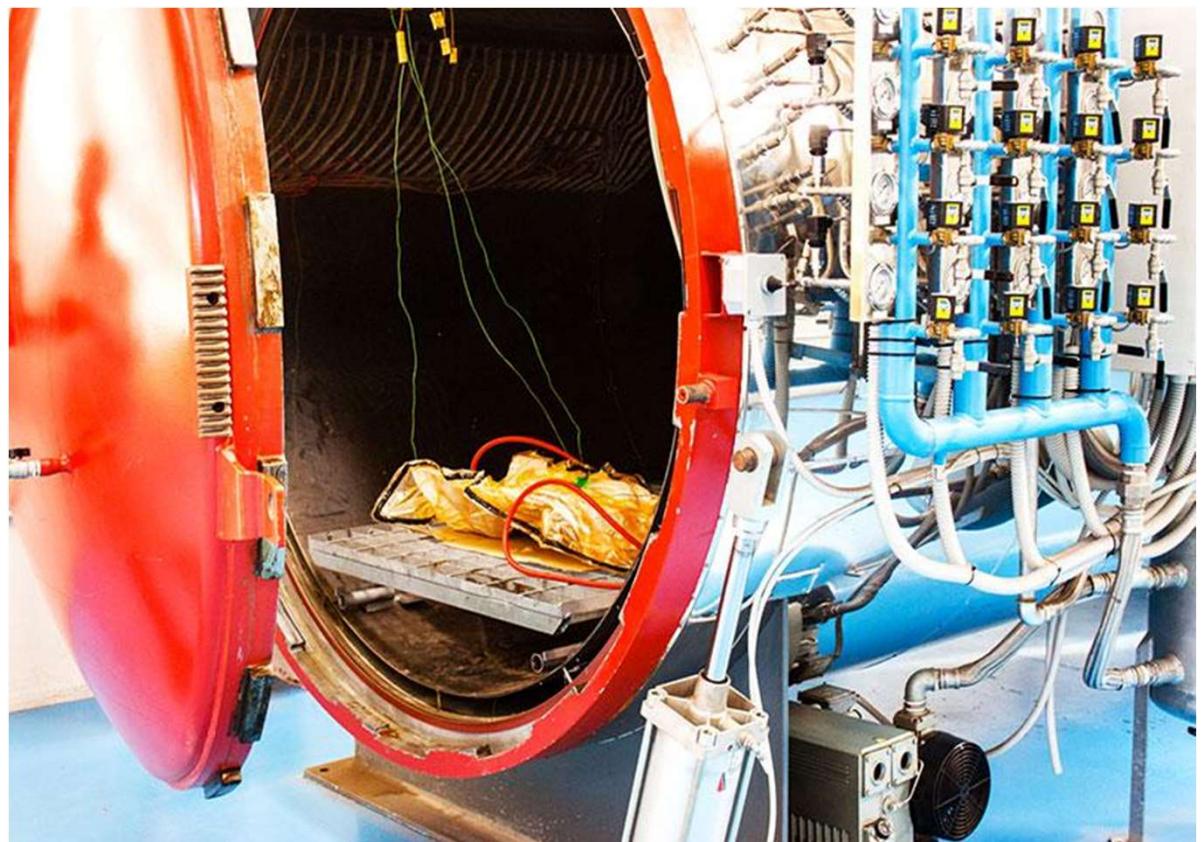
# Estrazione

Ad ogni estrazione sara' eseguito un controllo visivo sullo stampo e, ogni 80 cicli, inviato al controllo qualita'.

Quest'ultimo avverra' su due fronti: sullo stampo e su ogni pezzo prodotto.



Source: Google.com



Source: Google.com

# Controlla Qualita

## Stampo

Sullo stampo verra' eseguito un controllo non distruttivo attraverso la prova dei liquidi penetranti, al fine di evidenziare eventuali difetti superficiali in modo da garantire un ottima rugosita' superficiale. Possiamo evidenziare due tipi di danni :

- Ammaccature
- Graffi



Source: Google.com



Source: Google.com

Se l'ammaccatura e' importante si valuta di rifare lo stampo, altrimenti si produce con l'applicazione di filler apposite.

Se lo stampo presenta invece graffi, si procede a una lucidatura cercando di rispettare le tolleranze del pezzo

# Controlla Qualita

## Pezzo

Su ogni pezzo viene eseguito (in ordine di costo) :

- Controllo visivo per evidenziare eventuali difetti estetici dovuti dalla maldisposizione delle fibre.
- Controllo agli ultrasuoni per individuare eventuali delaminazioni o grinze
- Controllo dimensionale attraverso l'uso di apposite dime.

Source: Google.com

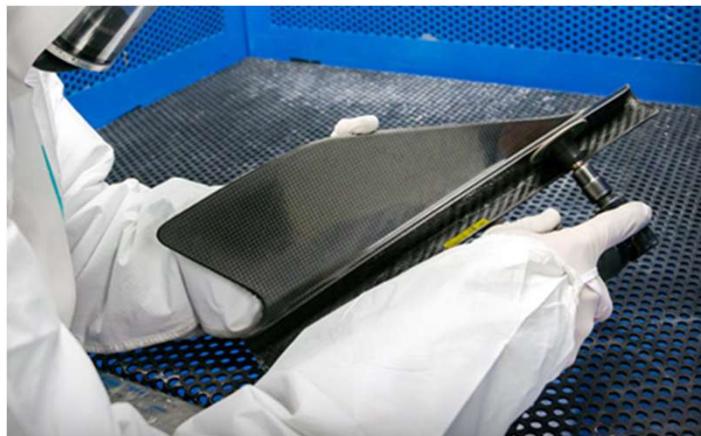


Source: Google.com

# Finitura

## Rifilatura e Sgrossatura

Sul pezzo viene eseguita una rifilatura per eliminare le bave create dagli eccessi di resina, e una sgrossatura per eliminare le gli scarti seguendo la linea di taglio e smussare la parte interna e la spalla del cerchione onde evitare il danneggiamento dello pneumatico.



Source: Google.com

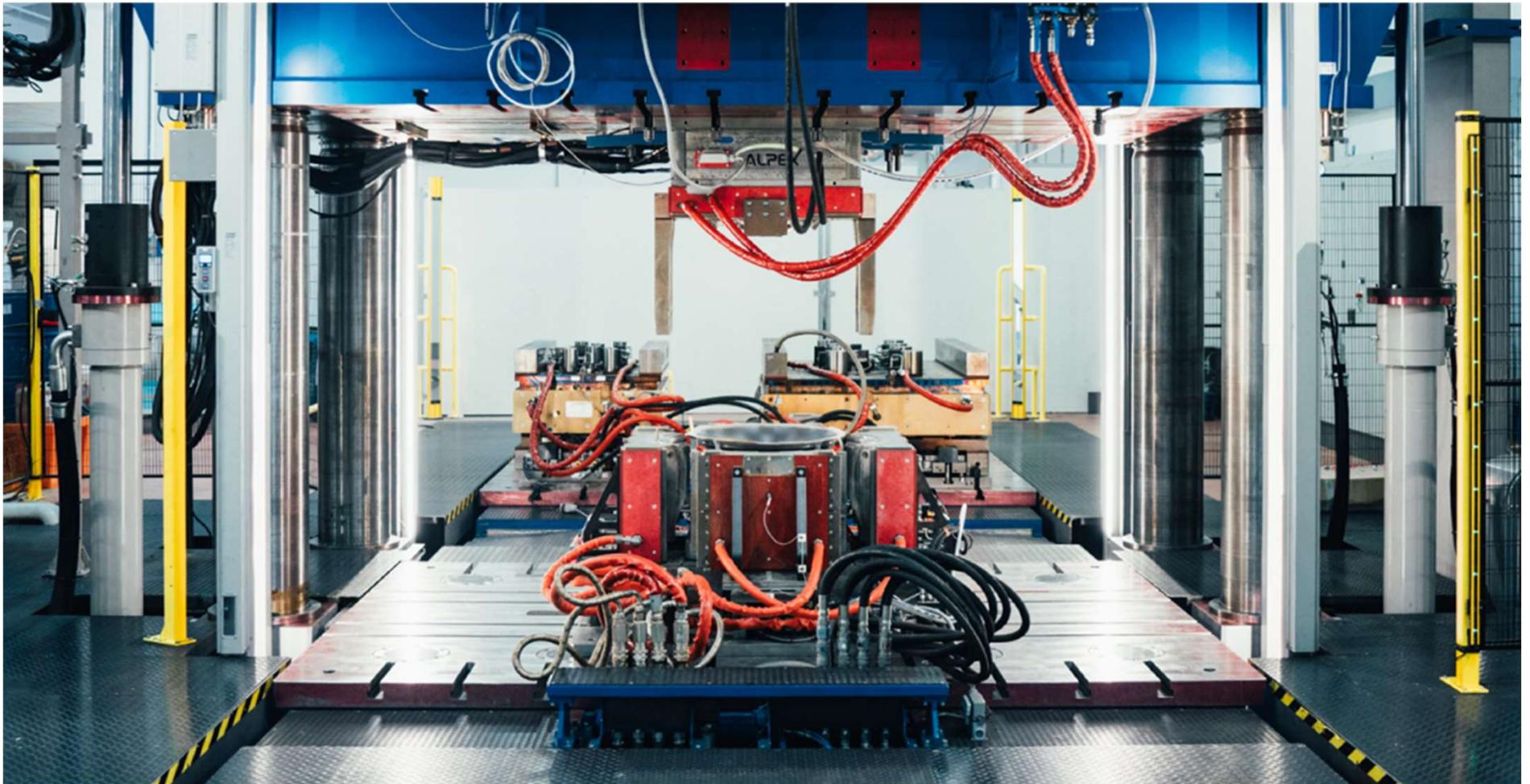
## Verniciatura

A fine Ciclo di rifinitura, il pezzo verra' sottoposto ad una smaltatura per donargli un aspetto shiny (Carbon Look) e fornirgli uno strato protettivo.



Source: Google.com

# Processo con HP-RTM



Source: Bucci Composites

Processo produttivo di un cerchione ambito Automotive G. Cucchiarini N. Ilic L. Ramazzotti

# Processo con HP-RTM

## Definizione Stampo e Pressa

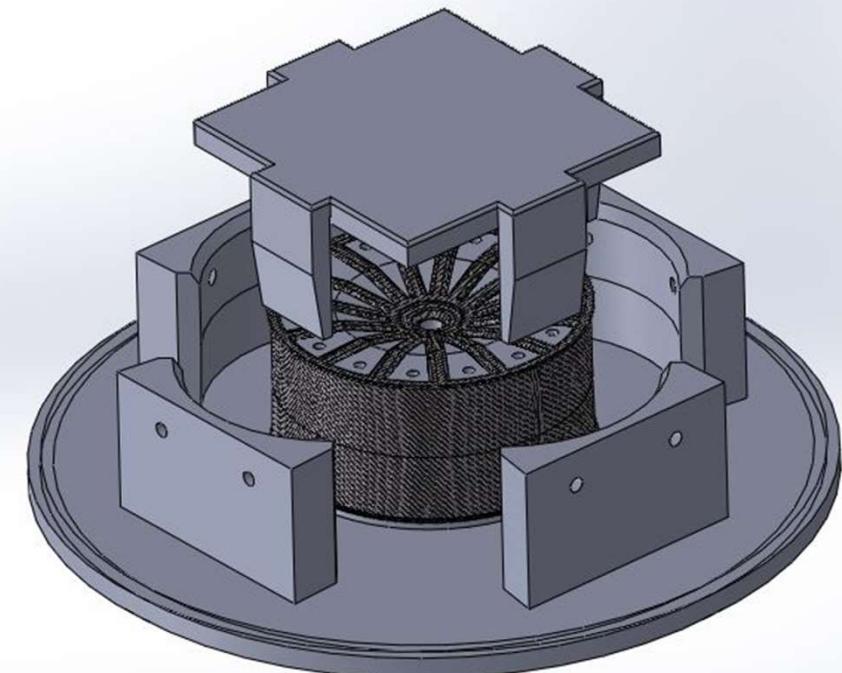
Lo stampo è stato realizzato in acciaio al fine di garantire la durata durante tutto il ciclo di produzione.

La pressa è composta da 5 elementi aggiuntivi o controstampi. 4 elementi o pannelli laterali si muovono linearmente e vengono serrati da delle morse appartenenti al controstampo superiore.

Quest'ultimo, muovendosi linearmente, serra il cerchione in tutte le sue direzioni.

Per la sua conservazione sono state usate le stesse tecniche dello stampo usato per la produzione in autoclave.

Forza di Serraggio (MN)	25
Piastra (m)	2.4-3.6
Pressione iniezione(bar)	80-120

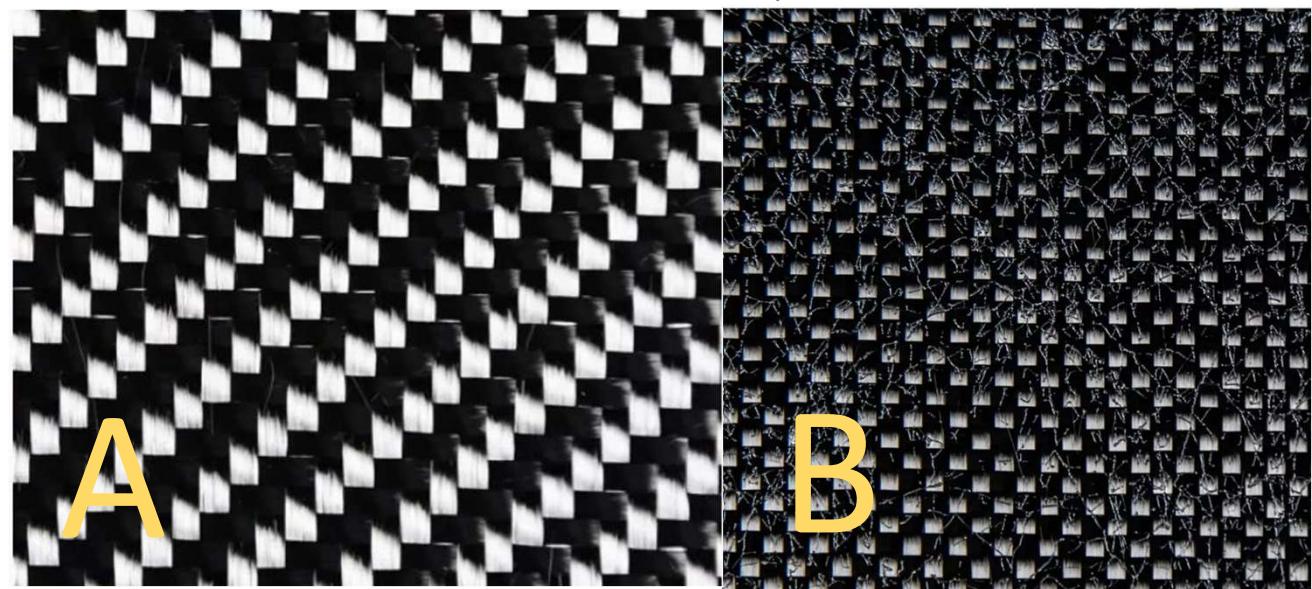


# Processo con HP-RTM

## Definizione Materiali

Per il Processo HP-RTM abbiamo scelto dei materiali con caratteristiche simili a quelli usati per il processo in autoclave con lo scopo di avere un laminato il più possibile simile per compararne le proprietà e i costi delle due produzioni.

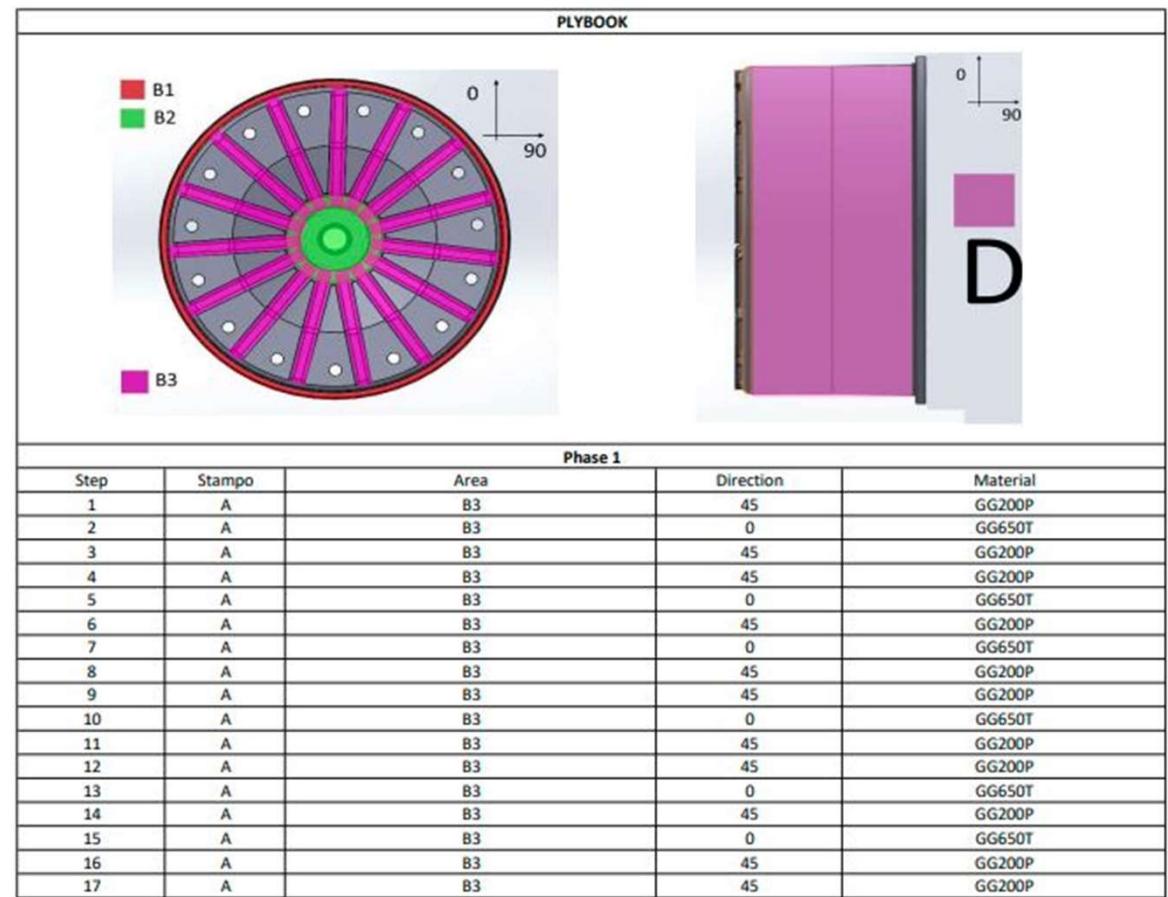
Source: Castrocomposites



PREPREG	TIPO	GRAMMATURA	E(Gpa)	THICK	FIG.
GG650T	TWILL 2X2 12K	650	230	0.65	A
GG 200P	PLAIN WAEVE 3K	200	230	0.2	B

# Processo con HP-RTM

## Plybook e Lay-up



# Processo con HP-RTM

## Scelta della resina e punti di iniezione

Resina epossidica ad alte prestazioni e di alta temperatura di transizione vetrosa (200 ° C).

Specialmente formulata per la produzione di stampi e componenti in materiale composito di grandi dimensioni, che necessitano di alte temperature di deformazione, e le proprietà meccaniche.

Grazie alla sua bassa viscosità ed elevata proprietà di impregnare il rinforzo è adatta per la produzione di parti

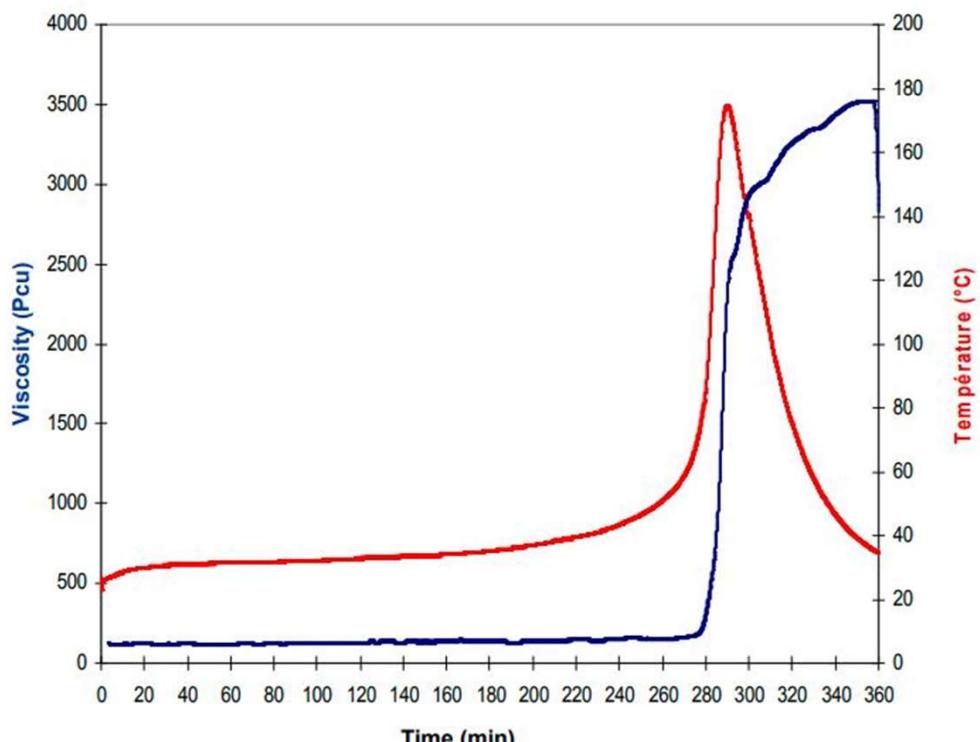
Tramite HP-RTM.

Resin HTG 200  
Hardener HTG 205

100 pbw  
22 pbw



REFERENCES	HTG 200	HTG 250
Viscosity	3400	24
Viscosity Mix	-	375

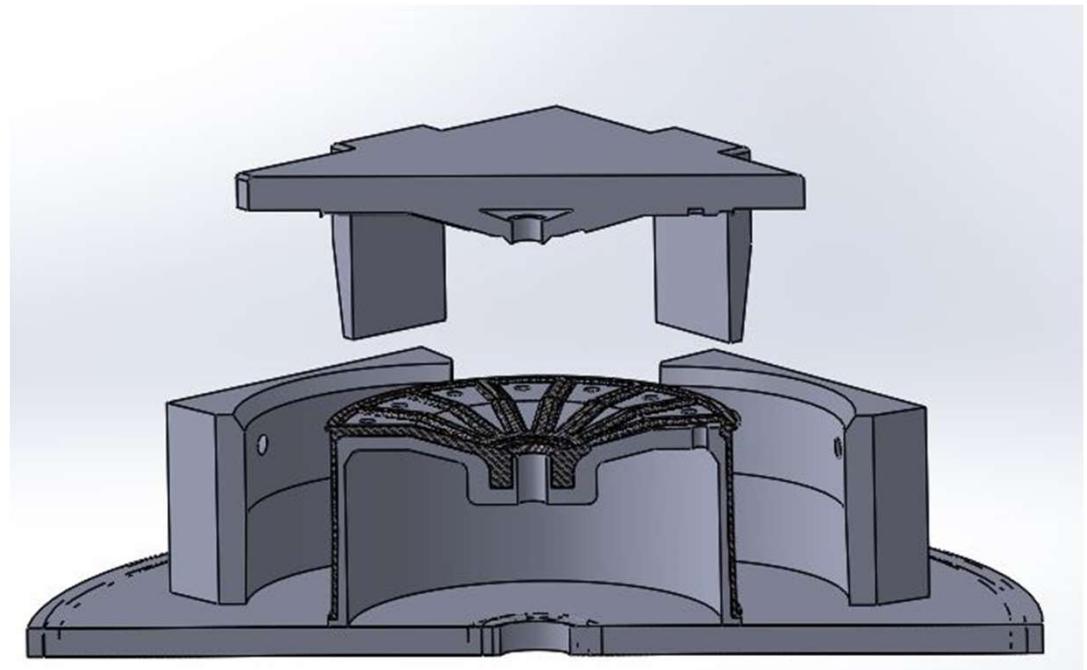
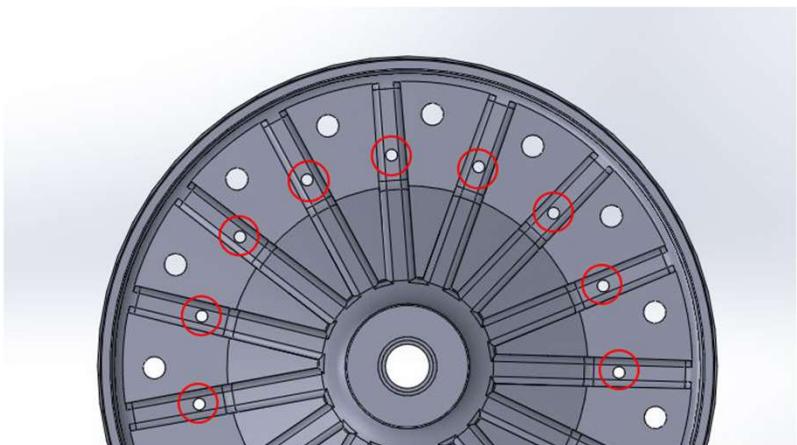


# Processo con HP-RTM

## Scelta della resina e punti di iniezione

Abbiamo scelto di inserire un punto di iniezione per ogni pannello laterale e per ogni raggio presente sul controstampo superiore.

Questa scelta è finalizzata nell'aumentare, grazie alla potenza disponibile del processo (80-120 bar), la portata in massa della resina e diminuire il tempo di produzione e relativi costi.



REFERENCES	HTG 200	HTG 250
Viscosity	3400	24
Viscosity Mix	-	375

# Processo con HP-RTM

## Preformatura

Le pelli vengono disposte sullo stampo secondo il plybook per essere preformate.

Successivamente, una volta chiusa la preforma, si procede a riscaldare e pressare il pezzo al fine di formarlo.

Una volta conclusa la preformatura questo verrà estratto e preparato per l' HP-RTM.



Source: Youtube.com

# Processo con HP-RTM

## Stampaggio

### Pulizia dello Stampo:

Dopo l'estrazione applicazione di acetone per ripulire bene lo stampo dalla resina reticolata.

### Applicazione del distaccante:

Una volta evaporato l'acetone, si procede con l'applicazione di 3-5 strati di distaccante .

### Posizionamento del rinforzo secco preformato:

Il posizionamento deve essere eseguito cercando di far combaciare perfettamente la preforma con lo stampo al fine di evitare tensioni residue o stramature dovute ad uno spostamento durante la chiusura di quest'ultimo.



Source: Google.com

# Processo con HP-RTM

## Stampaggio

### Iniezione della Resina:

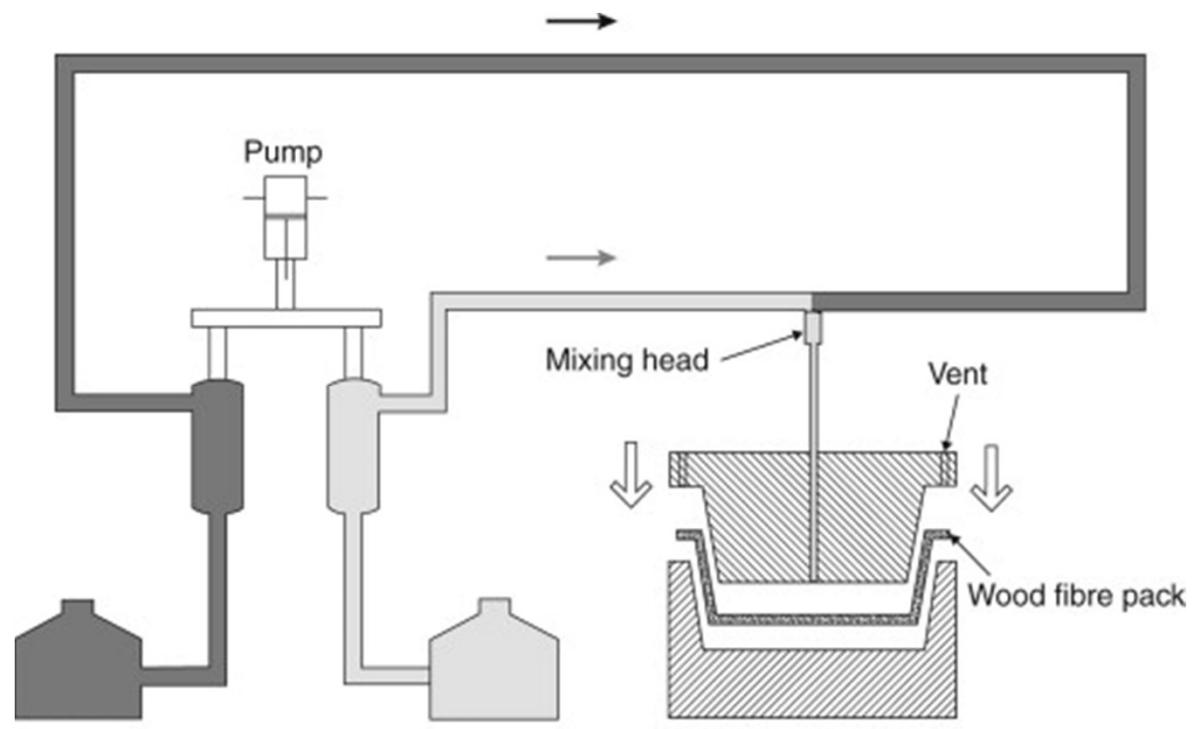
Una volta chiuso lo stampo si procede con l'iniezione della resina ad alta pressione (80-120 bar) così da impregnare efficacemente lo stampo e riempirlo senza lasciare zone di vuoto.

### Polimerizzazione della Resina:

Con l'aumentare della temperatura dello stampo si velocizza il tempo di polimerizzazione della resina con conseguente abbassamento dei costi.

### Apertura dello stampo ed estrazione del pezzo:

Una volta concluso il ciclo di cura, il pezzo viene estratto e portato al controllo qualita' .



Source: Google.com

# Processo con HP-RTM

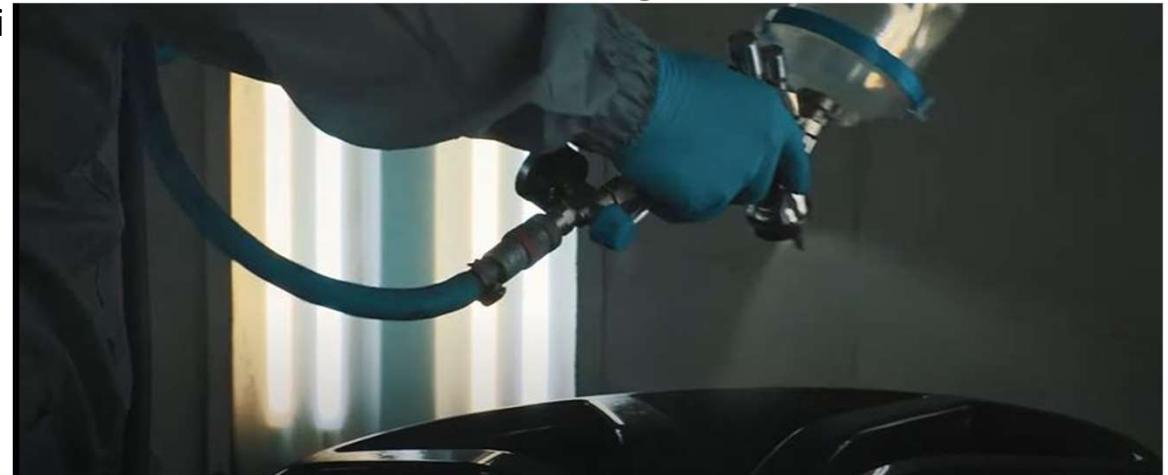
## Controllo Qualita' e Finitura

Vista la somiglianza tra i due processi per quanto riguarda gli stampi, la finitura sara' identica a quella utilizzata per l'autoclave .

Per il controllo qualita' si dovrà procedere innanzitutto a un controllo visivo per fare attenzione ai punti critici dello stampo che possono causare una mancanza o un eccesso di resina.



Source: Google.com



Source: Google.com

# Confronto dei due Processi

HP-RTM	Laminazione Manuale (Stampo e Controstampo)
<b>Vantaggi</b>	
Alto Regime Produttivo	
Indipendente dalla capacita' dell'operatore	Processo semplice
Buona sicurezza e controllo ambientale grazie al contenimento della resina	Possibile utilizzo sia di tessuti che di mat
Possibilità di realizzare laminati con un alto volume di fibre e un contenuto di vuoti molto basso	Possibilità di realizzare oggetti di dimensioni notevoli
Altamente automatizzabile	Bassi costi d'impianto
Entrambi i lati del componente hanno una buona finitura superficiale.	
<b>Svantaggi</b>	
Alti costi di impianto (pressa,stampi,pompe assiali e rotative,linea di preformatura)	Bassissima ripetibilita'
Stampi costosi e pesanti per sopportare le pressioni	Impossibilita' di automatizzare il processo

# Confronto dei due Processi

HP-RTM	Laminazione Manuale (Stampo e Controstampo)
<b>Criticita'</b>	
Danni da iniezione di resina (scarsita' o eccesso)	Perdite del Vacuum Bag
Taglio o stramatura della pelle dovuto al mal posizionamento	
	Delaminazione o grinze da posizionamento
	Danni da Estrazione



Source: Youtube.com



Source: Youtube.com

# Analisi dei Costi

## Premesse

Al fine di rendere piu' realistica possibile l'analisi dei costi, ci siamo calcolati usando i dati forniti dai nostril fornitori il costo delle varie pelli per metro quadro, e il costo della resina al kg (HP-RTM) . Cosi' facendo, calcolando la superficie dell'oggetto da laminare e moltiplicando le varie sezioni di quest'ultima per il numero di pelli, siamo riusciti a quantificare spannometricamente la quantita' di Prepreg, rinforzo e resina e' necessaria per soddisfare la commessa.

COSTO MATERIALI			
LAMINAZIONE MANUALE			
MATERIALE	TIPO	COSTO	UNITA
MTC510-C200T	PREPREG	60.00	€/m <sup>2</sup>
MTC510-UD300	PREPREG	55.00	€/m <sup>2</sup>
VTC401-C650T	PREPREG	105.00	€/m <sup>2</sup>
HP-RTM			
MATERIALE	TIPO	COSTO	UNITA
GG200P	RINFORZO	30.00	€/m <sup>2</sup>
GG650T	RINFORZO	35.00	€/m <sup>2</sup>
HTG-200 MIX	RESINA	100.00	€/kg

# Analisi dei Costi

## Premesse

CALCOLO VOLUME RESINA HP-RTM							
DENSITA (gr/mm <sup>3</sup> )	VOLUME 55%	Costo Resina/Pezzo	Resina/Pezzo	Resina Totale (gr)	Resina Totale (kg)	Commessa	Costo(€)
1.02	1732.5	176.715	1767.15	7068600	7,068.60	4000	706,860.00
CALCOLO COSTO MATERIALE LAMINAZIONE MANUALE							
Superficie da laminare (m <sup>2</sup> )	Av. Numero di Ply	Costo medio Materiale (€/m <sup>2</sup> )	Materiale per Pezzo (m <sup>2</sup> )	Costo Pezzo (€)	Commessa	Costo lotto	
0.13	100.00	73.33	13.00	953.33	4000	3,813,333.33	
CALCOLO COSTO MATERIALE HP-RTM							
Superficie da laminare (m <sup>2</sup> )	Av. Numero di Ply	Costo medio Materiale (€/m <sup>2</sup> )	Materiale per Pezzo (m <sup>2</sup> )	Costo Pezzo (€)	Commessa	Costo lotto	
0.13	100.00	32.50	13.00	422.50	4000	1,690,000.00	

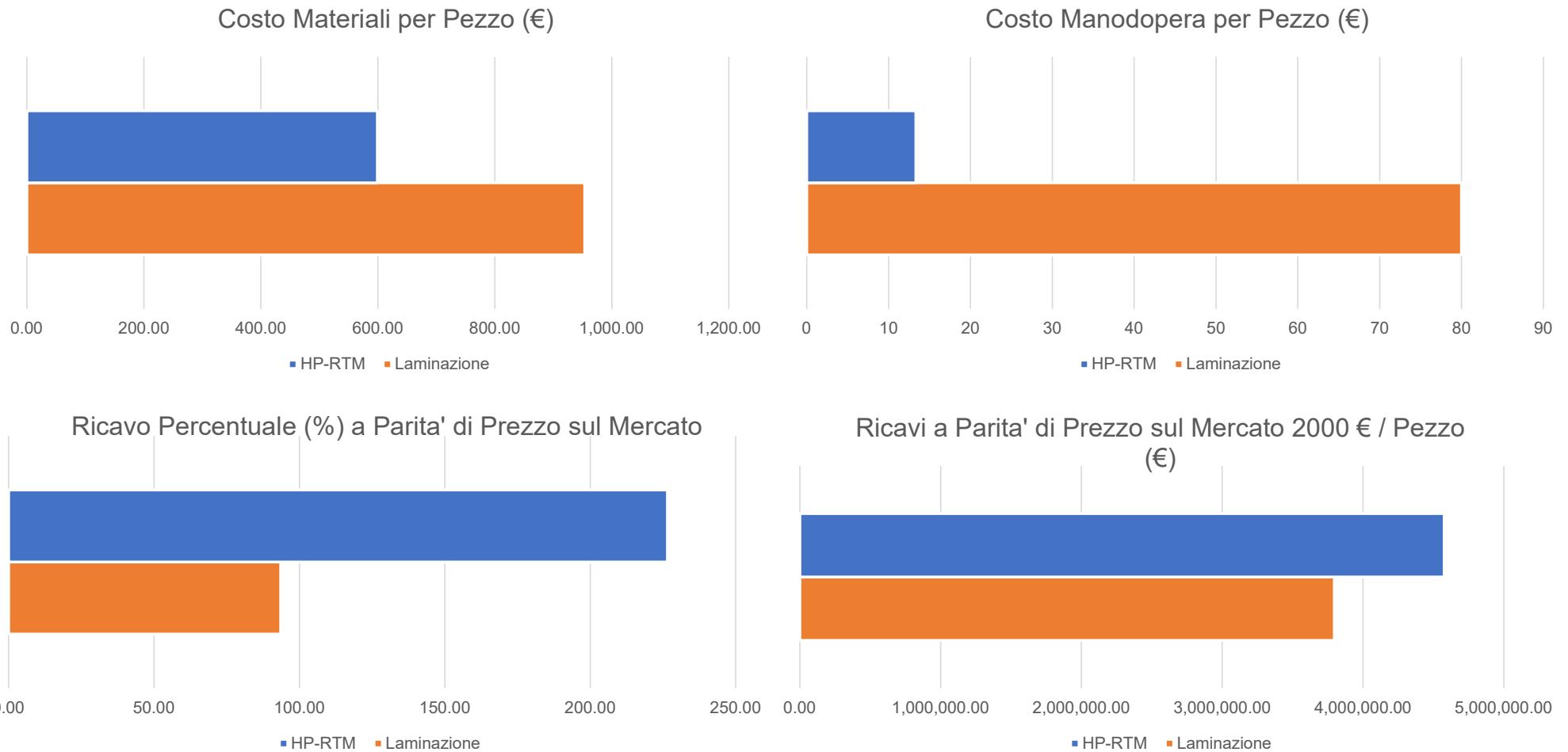
# Analisi dei Costi

## Premesse

COSTO OPERATIVI						
LAMINAZIONE MANUALE						
TIPO	UNITA	Costo (€/h)	Tempo Prod. (h/pezzo)	Costo (€/pezzo)	Commessa	Costo totale (€)
OPERATIVI	1	10.00	8	80.00	4000	320,000.00
HP-RTM						
TIPO	UNITA	Costo (€/h)	Tempo Prod. (h/pezzo)	Costo (€/pezzo)	Commessa	Costo totale (€)
OPERATIVI	1	10.00	0.15	1.50	4000	6,000.00

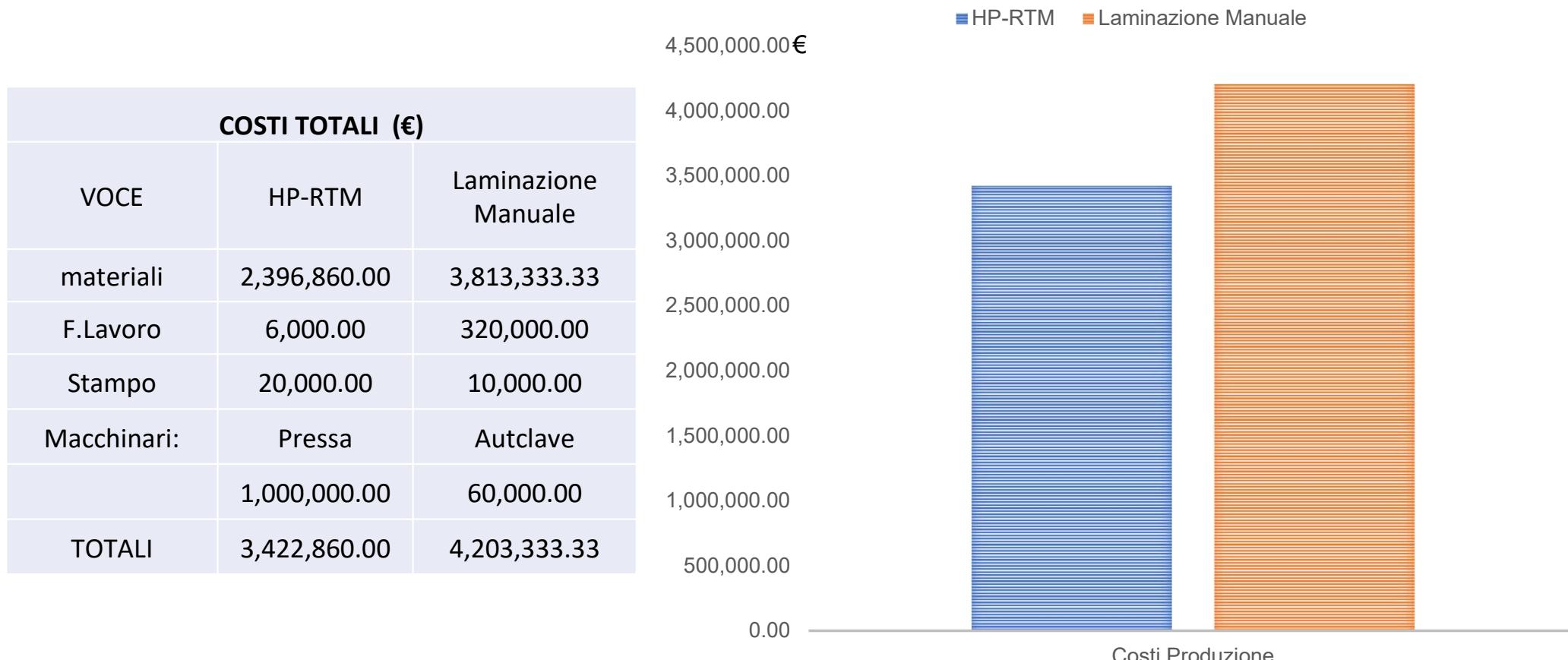
# Analisi dei Costi

## Conclusioni



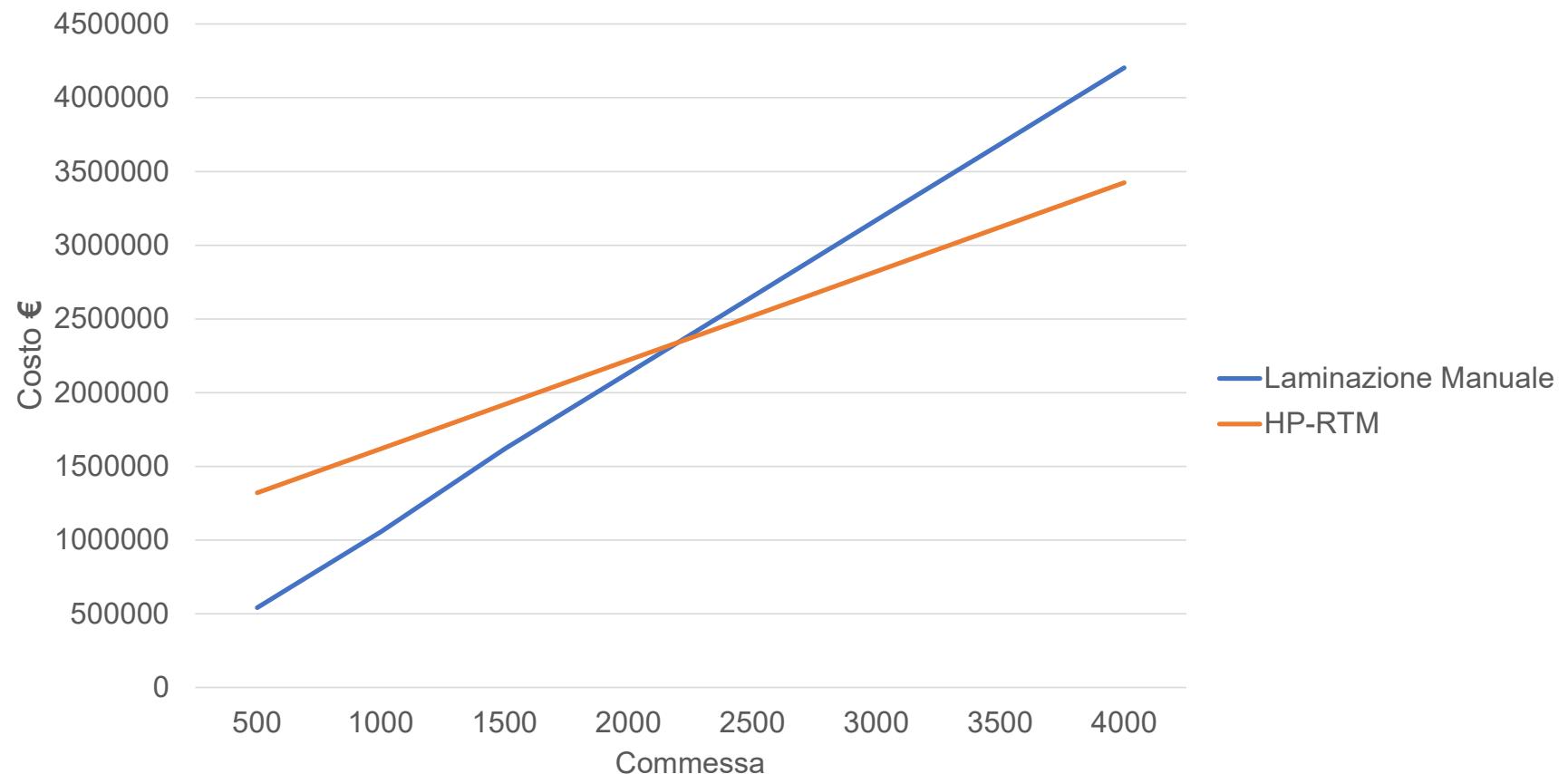
# Analisi dei Costi

## Conclusioni



# Analisi dei Costi

## Conclusioni



# Grazie per l'attenzione



A cura di:

Cucchiarini Giovanni

Ilic Nenad

Ramazzotti Leonardo

Processo produttivo di un cerchione ambito Automotive G. Cucchiarini N. Ilic L. Ramazzotti

