



# **Tecnologie di fabbricazione dei compositi a matrice termoindurente-parte 3**

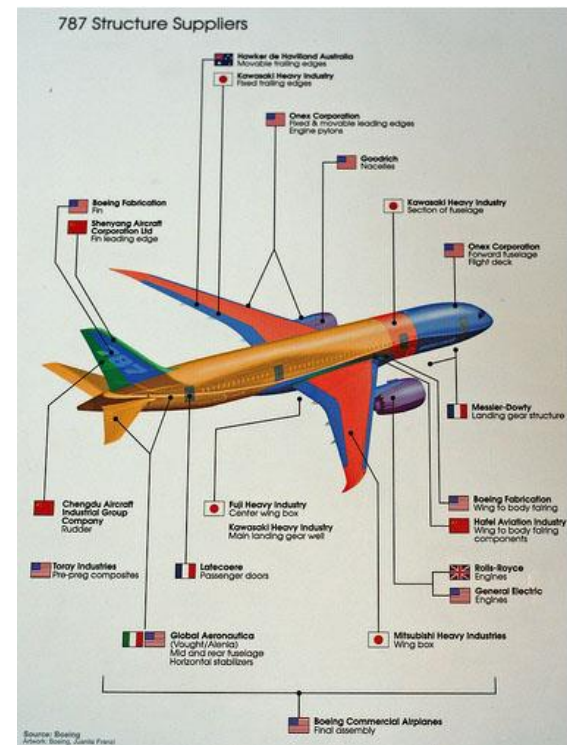


# **Stampaggio in autoclave**



## Principali applicazioni

- industria aeronautica e aerospaziale
- auto, imbarcazioni e attrezzi sportivi
- applicazioni con elevate prestazioni meccaniche





## Principali caratteristiche

- **Eccellenti proprietà meccaniche**
- **Flessibilità geometrica**
- **Necessità di alte temperature**
- **Tempi di produzione lunghi**
- **Costi elevati**
- **Problemi di stoccaggio prepreg**



## **Materiali**

- **Resine: epossidiche (poli-imidi, policianati, ecc.)**
- **Fibre: carbonio (aramidiche, vetro)**
- **Formati: prepreg unidirezionali, tessuti**

## **Stampi**

- **Carboresine**
- **Metalli**
- **Raramente legno e plastica**



## **Fasi del processo**

- 1. Pulizia e preparazione stampo (applicazione del distaccante)**
- 2. Taglio delle lamine di prepreg a temperatura ambiente**
- 3. Preparazione dello stratificato (lay up) con i materiali accessori ed eventuali vuoti intermedi per migliorare la compattazione**
- 4. Posizionamento termocoppie di controllo**
- 5. Applicazione sacco**
- 6. Applicazione vuoto**
- 7. Polimerizzazione in autoclave (applicazione di pressione e temperatura)**

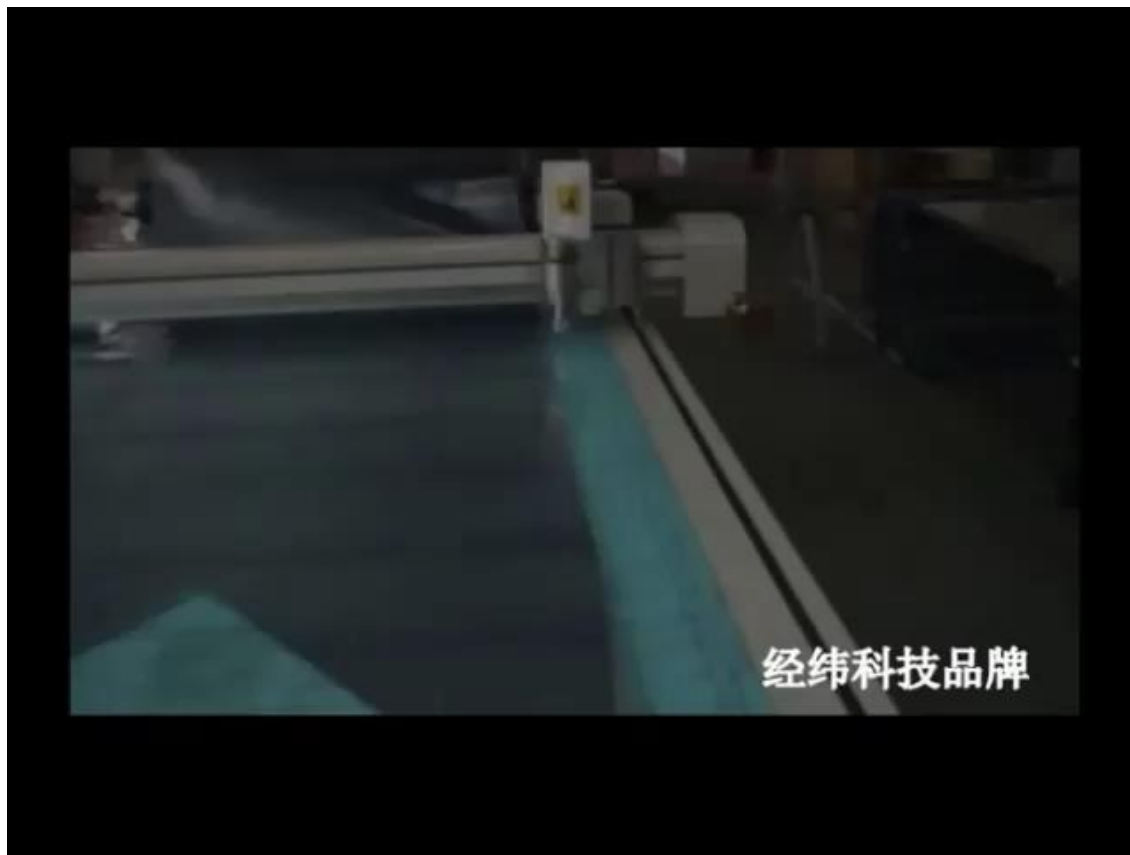


# Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Università di Napoli "Federico II"

CICLO CONTROLLO LAVORAZIONE				
PART NUMBER: ██████████		REV. PEZZO: E	REV. CICLO: 00	DATA REV. CICLO: 28/03/2007
DENOMINAZIONE: LONGITUDINAL RIB LH		ODL N°:	S/N:	N° ORDINE ACQUISTO:
Elaborato da:		Approvato da:		Q.TA': 01
Fase	Descrizione	Data	Operatore	Controllo
090	<b>CLEAN - ROOM - laminazione:</b> Ply P001 (OPZ) GLASS FIBRE ST. 120 PW Ply P002 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Eseguire previsto di compattazione.			
100	<b>Controllo in autoverifica.</b> Controllo operazioni precedenti			
110	<b>CLEAN - ROOM - laminazione:</b> Ply P003 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P004 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P005 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P006 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P007 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Eseguire previsto di compattazione.			
120	<b>Controllo in autoverifica.</b> Controllo operazioni precedenti.			
130	<b>CLEAN - ROOM - laminazione:</b> Ply P008 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P009 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P010 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P011 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P012 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Eseguire previsto di compattazione.			
140	<b>Controllo in autoverifica.</b> Controllo operazioni precedenti.			
150	<b>CLEAN - ROOM - laminazione:</b> Ply P013 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P014 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P015 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P016 (45°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Ply P017 (0°) CFC VICOTEX 914/40%/G803 ; Eseguire previsto di compattazione.			
160	<b>Controllo in autoverifica.</b> Controllo operazioni precedenti.			



## **Taglio delle lamine**



**Disposizione delle lamine**



## Stampaggio in sacco con autoclave



La variante più performante dello stampaggio in sacco è quella che include l'uso dell'**autoclave** durante il processo di polimerizzazione al fine di sottoporre i pezzi che voglio produrre a cicli **tempo-temperatura-pressione** strettamente controllati.

## Autoclave



L'autoclave è un grosso recipiente pressurizzato, isolato termicamente mediante il controllo **pressione-temperatura-tempo**

**Temperatura (max):** 350° C ( $\pm 5^\circ$  C)  
**Pressione (max):** 14bar; normalmente 4-6 bar.

**Riscaldamento:** avviene mediante elementi elettrici intorno alla periferia e grazie ad un ventilatore per la

**Ventilatore:** è mosso da un motore elettrico esterno.

**Raffreddamento:** è accelerata da un circuito idraulico attraversato da acqua fredda.

## Autoclave



La polimerizzazione in autoclave è il metodo più ampiamente utilizzato per produrre laminati di alta qualità nell'industria aerospaziale. Gli autoclavi sono strumenti estremamente versatili.

Poiché la pressione del gas viene applicata isotropicamente alla parte, praticamente qualsiasi forma può essere polimerizzata in un autoclave. L'unico limite è la dimensione dell'autoclave e il notevole investimento iniziale per l'acquisto e l'installazione di un autoclave.



## Autoclave

Autoclave per componenti automobilistici

D=2.5m x 4m – 7bar – 200° C

D=1.2m x 3m – 10bar – 400° C

Autoclave per componenti aeronautici

D=4.25m x 12m – 15bar – 220° C



La pressurizzazione avviene mediante un fluido (aria e/o CO<sub>2</sub>)

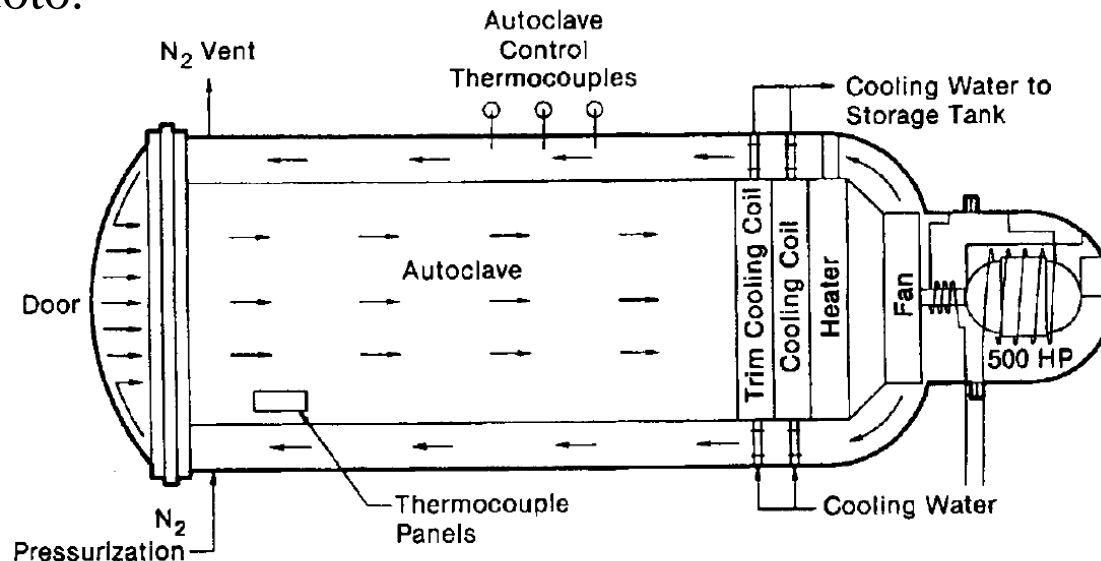
**Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale  
Università di Napoli “Federico II”**





## Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Università di Napoli "Federico II"

Un tipico sistema di autoclave è composto da un recipiente a pressione, un sistema di controllo, un sistema elettrico, un sistema di generazione del gas e un sistema di vuoto.

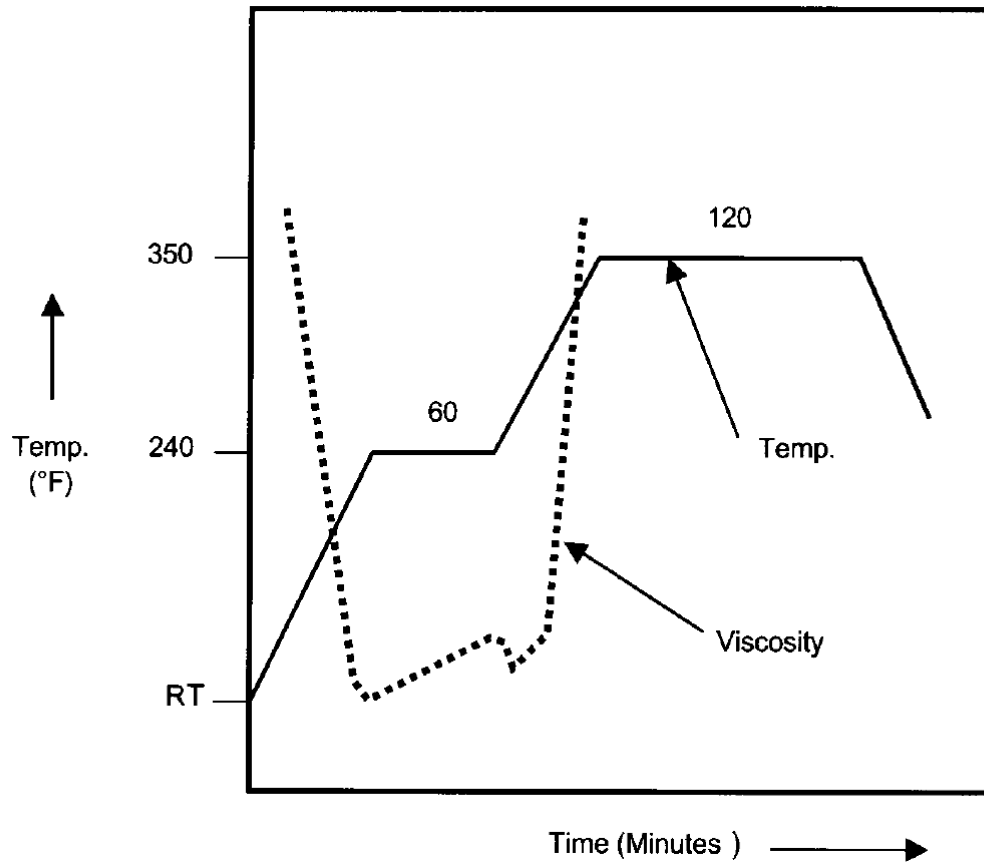


Working Space:	12 ft Dia x 40 ft Length	Heating:	Electrical - 3,120 kW
Max Temperature:	650°F	Air Movement:	60,000 ft <sup>3</sup> /min at 600 RPM
Max Pressure:	150 psi	Part Monitoring:	48 Vacuum Supply Outlets 24 Vacuum/Pressure Monitoring Outlets 108 Thermocouple Jack Outlets

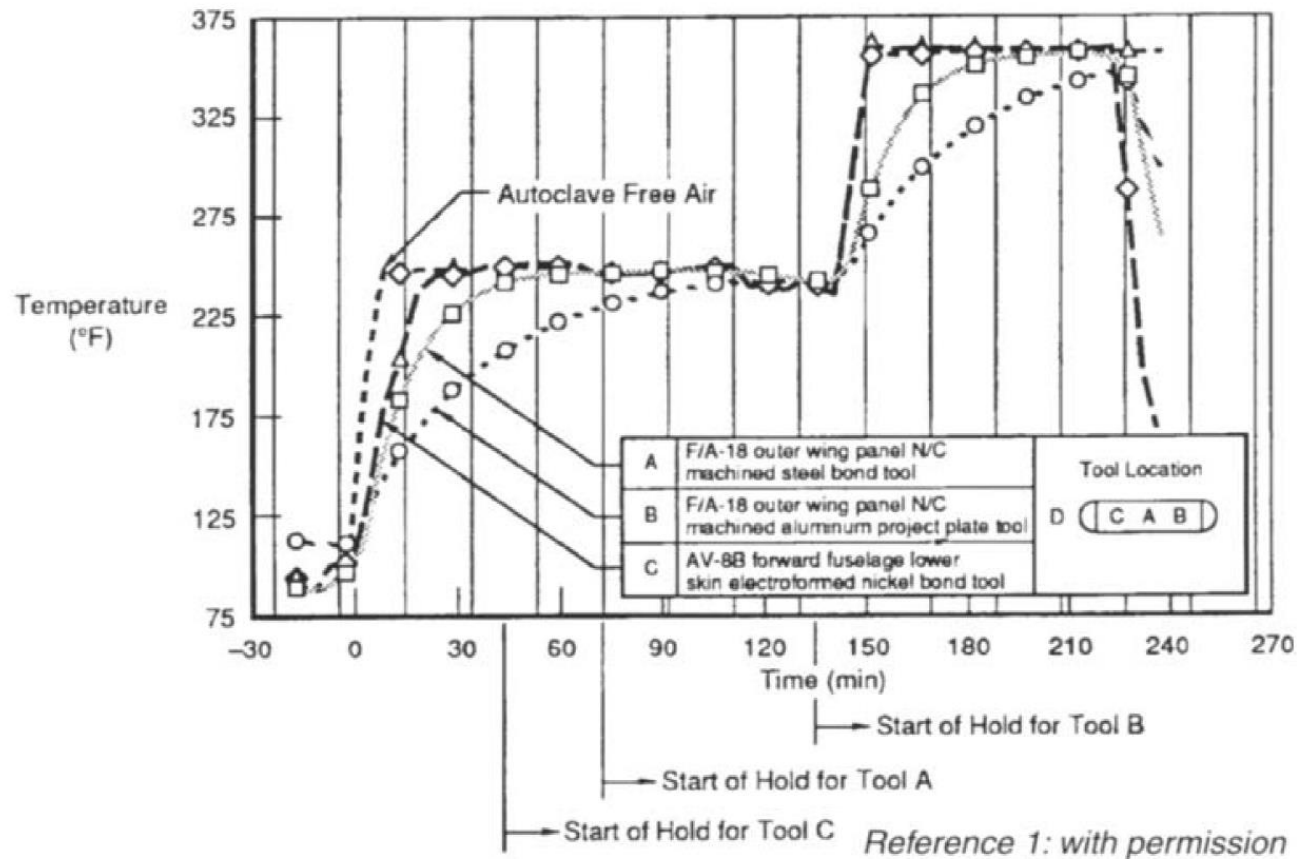




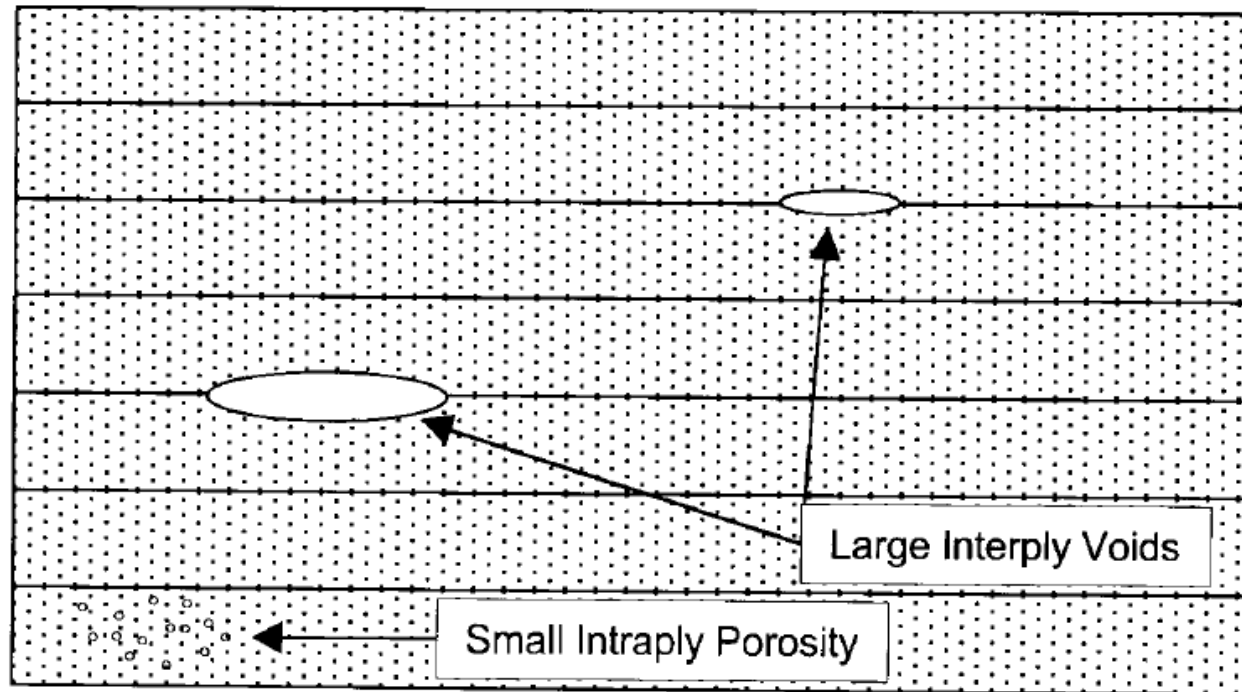
## Ciclo



## Ciclo



## Ciclo





Clean Room



## **Materials**

### **Pre-preg:**

- Resin weight fraction: 34-50%
- Fiber weight fraction of the final lamninate: 50-66%

N.B

After polymerization a lost of 10% wt. of resin occurred.

Common resins:

- epoxy
- Phenolic



## Stampaggio in sacco con autoclave

### Pro

1. alta qualità, anche per pezzi di geometria complessa
2. alti volumi percentuali di rinforzo
3. ottima flessibilità: la deposizione comunque è manuale, quindi l'operatore può far assumere al materiale anche geometrie molto differenti
4. possibilità di produrre molti componenti in un unico ciclo
5. controllo di pressione e temperatura
6. pochi difetti (0.1%)

### Contro

1. costi d'impianto elevati
2. alta specializzazione del personale
3. grande controllo dei parametri di processo (temperatura e pressione)
4. **Cicli lenti** con lenta diminuzione della temperatura al fine di non indurre tensioni residue
5. **Vincoli dimensionali dovuti alle dimensioni funzionali dell'autoclave**



Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale

Università di Napoli "Federico II"

## Campi di applicazione

Tale tecnologia è la più utilizzata in **campo aeronautico**, in **campo aerospaziale** per vettori spaziali e satelliti, per **parti strutturali del settore automotive** e del settore motociclistico, in **competizioni sportive** come Moto Gp e Formula 1, per barche con scafi ultraleggeri da competizione.



Tecnologie dei materiali c