



Tecnologie di fabbricazione dei compositi a matrice termoindurente-parte 4



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

Processi LCM



La famiglia di processi di fabbricazione dei materiali compositi **Liquid Composite Molding (LCM)** comprende una serie di tecniche dove una resina liquida termoindurente viene iniettata in uno stampo chiuso contenente una preforma fibrosa (rinforzo).

Negli ultimi anni, sono state sviluppate molte variazioni di questo processo, tra cui resin film infusion (RFI), il trasferimento della resina assistito dal vuoto (VARTM) e il Seeman's composite resin infusion molding process (SCRIMP), per citarne alcuni.

L'obiettivo di tutti questi processi è quello di fabbricare parti in materiale composito stampate quasi al netto a basso costo.



<i>Process Terminology</i>	<i>Process Attributes</i>
Resin Transfer Molding (RTM)	<ul style="list-style-type: none"> • Resin injected into matched mold under pressure • Vacuum assistance may or may not be used • Excellent surface finishes on both surfaces • Can obtain high fiber volumes (57-60 v/o) • Process called Co-Injection RTM (CIRTM) uses different resin systems during injection process
Vacuum Assisted RTM (VARTM)	<ul style="list-style-type: none"> • Single sided tool normally used • Vacuum pulls liquid resin into preform (no applied pressure) • Requires low viscosity resins • Excellent surface finish on tool side • Tooling less expensive than RTM • Lower fiber volumes normally obtained (50-55 v/o) • Proprietary processes such as SCRIMP (Seeman's Composite Resin Infusion Molding Process) and FASTRAC used proprietary infusion media to speed resin infiltration
Resin Film Infusion Process (RFI)	<ul style="list-style-type: none"> • Resin film placed in bottom of tool and autoclave heat and pressure used To melt and force resin into preform • Normally requires matched die tools for complex parts • Variations include Resin Liquid Infusion (RLI) in which liquid resin replaces resin film and SPRINT in which resin layers are dispersed in the preform lay-up • Capable of producing high quality parts depending on the tooling
Expansion RTM	<ul style="list-style-type: none"> • Thermal-Expansion RTM (TERTM) uses matched die with internal core that expands to provide pressure during RTM • Rubber-Assisted RTM (RARTM) uses silicone rubber which expands on heating to provide pressure during RTM

Composites Part A 126 (2019) 105583

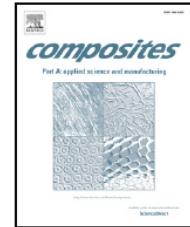


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Composites Part A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compositesa



Review

Confusion about infusion: An overview of infusion processes

Arne Hindersmann

DLR, German Aerospace Center, Institute of Composite Structures and Adaptive Systems, Ottenbecker Damm 12, 21684 Stade, Germany



ARTICLE INFO

Keywords:

Vacuum infusion
Liquid composite moulding
Composites manufacture

ABSTRACT

Today the impregnation of dry fibre materials is a production method preferred for large composite parts like wind turbine rotor blades or aircraft wing covers. This trend has led many researchers and many companies to deal with new processes or process modifications. Therefore, vacuum infusion is a term with many acronyms. It cannot always be clearly assigned whether a method is a new process or a modification of existing processes. This leads to a jungle of terms and acronyms, which causes confusion. Based on different publications from the past, further developments are to be represented in the present publication to the completion. The focus here is on vacuum infusion techniques and only marginally on resin transfer moulding techniques. In addition, aspects to increase process reliability, such as second vacuum bag and leakage detection, are discussed.



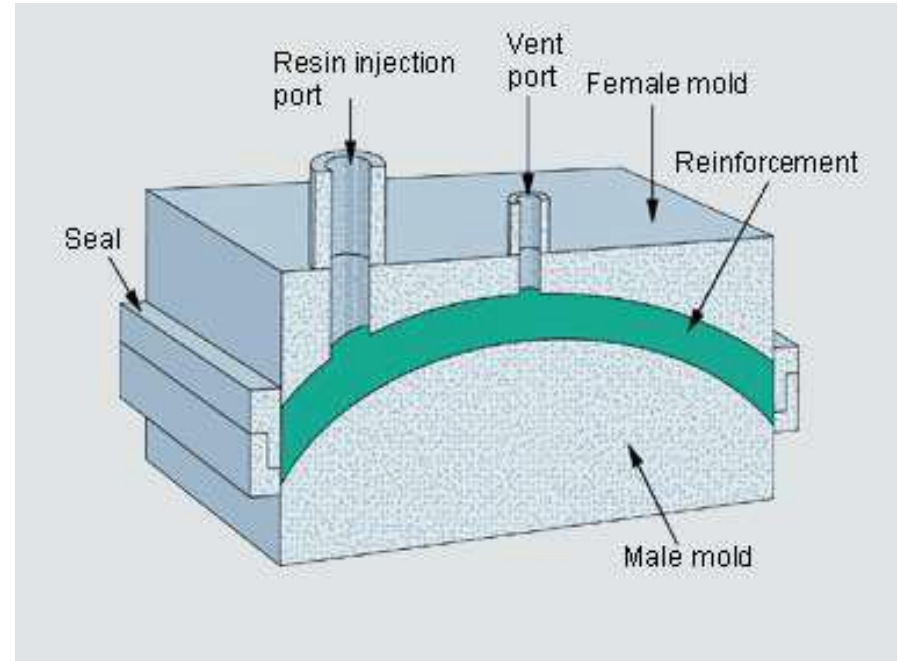
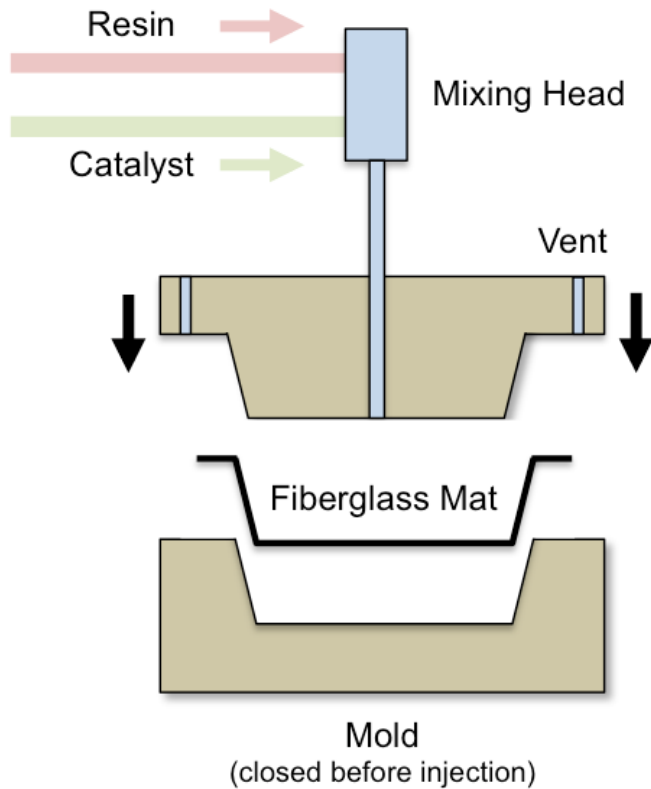
Resin Transfer Molding (RTM): Il processo RTM è costituito da tre fasi di base:

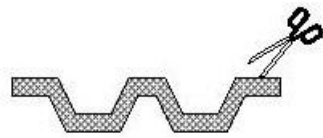
1. Pre-processing
2. Processing o iniezione
3. Postprocessing

Nella pre-processing, la preforma o viene inizialmente preparato e sistemato nello stampo.

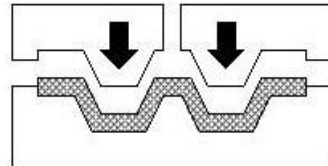
Successivamente, lo stampo viene chiuso e la preforma viene compressa. Nella preparazione dello stampo, prima del posizionamento delle fibre all'interno della cavità, viene applicato un agente di staccante in modo che, dopo la polimerizzazione della resina, il composito finito possa essere rimosso senza danneggiare la struttura dello stampo,

The RTM Process

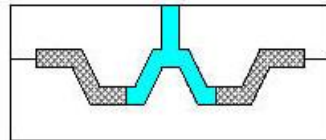




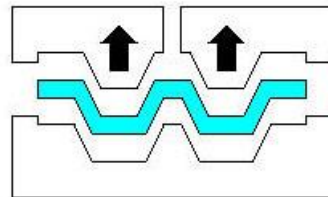
1. Preform layup



2. Insertion of preform



3. Mold filling and curing



4. Part removal

Principali applicazioni

- **industria automobilistica**
- **aerospazio**
- **attrezzi sportivi**
- **prodotti di consumo**

Principali caratteristiche

- **Buone proprietà meccaniche**
- **Buona produttività**
- **Basso costo degli stampi**
- **Buona finitura**
- **Rispetto dell'ambiente (resina no contatto diretto ambiente e bassa emissione)**
- **Automazione**
- **Difficoltà di messa a punto del processo**



Materiali

- **Resine: poliestere, vinilestere (epossidiche, fenoliche, ecc.)**
- **Fibre: vetro (carbonio, aramidiche) con pigmenti e filler**
- **Formati: mat, tessuti (preformati), braided**

Stampi

- **Metalli**
- **Composito (fibra di vetro)**
- **Legno, plastica per prototipazione**



RESINE:

- Poliestere, estere viniliche, resina epossidica

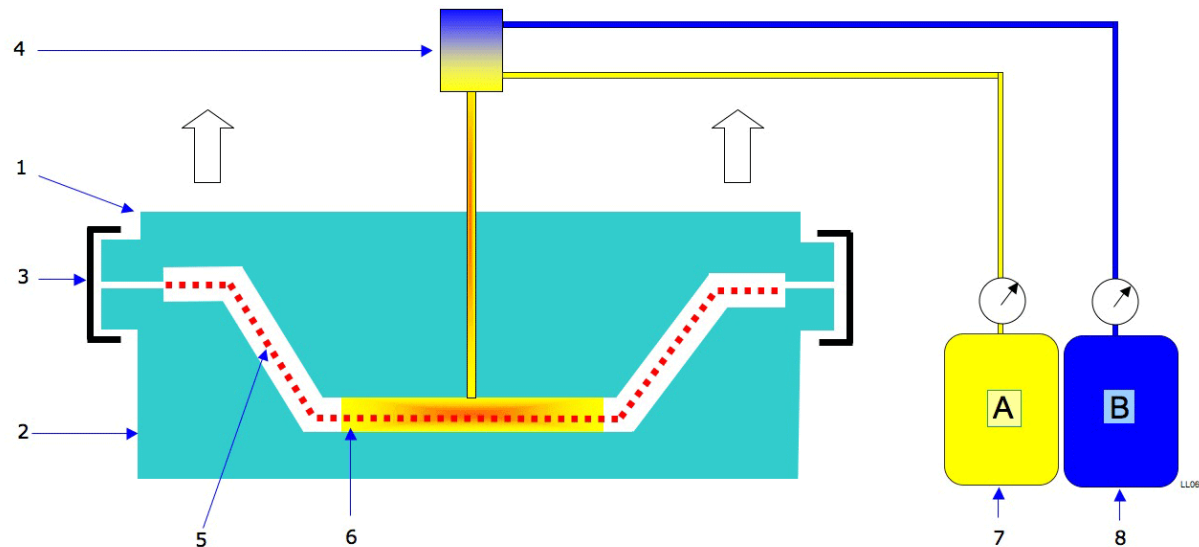


La resina da utilizzare nel processo deve avere una bassa viscosità ($\mu \leq 1$ Pa.s) in modo da ottenere una buona impregnazione del rinforzo e il tempo di iniezione non sia molto elevato.



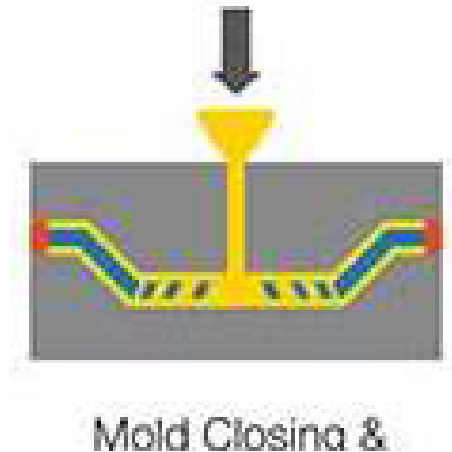
Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Università di Napoli "Federico II"

E' un metodo di stampaggio che utilizza stampi composti da matrice e punzone che prevede l'iniezione in pressione di resina all'interno dello stampo stesso, dove è stato messo in precedenza il rinforzo



- 1: Controstampo
- 2: Stampo
- 3: Morsetti
- 4: Mixing chamber
- 5: Preforma per le fibre
- 6: Stampo riscaldato
- 7: Resina
- 8: Additivi per la cura

1. La preforma viene posizionata all'interno dello stampo.
2. Lo stampo viene riscaldato a una temperatura specifica.
3. La resina viene iniettata attraverso le bocche di ingresso

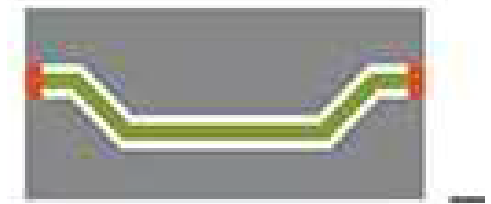




4. La resina viene iniettata fino a riempire completamente lo stampo.

5. Dopo la polimerizzazione, la parte composita viene rimossa dallo stampo.

Il composito può essere sottoposto a un trattamento con prodotti chimici e a un processo di lucidatura, al fine di renderlo pronto per la commercializzazione.



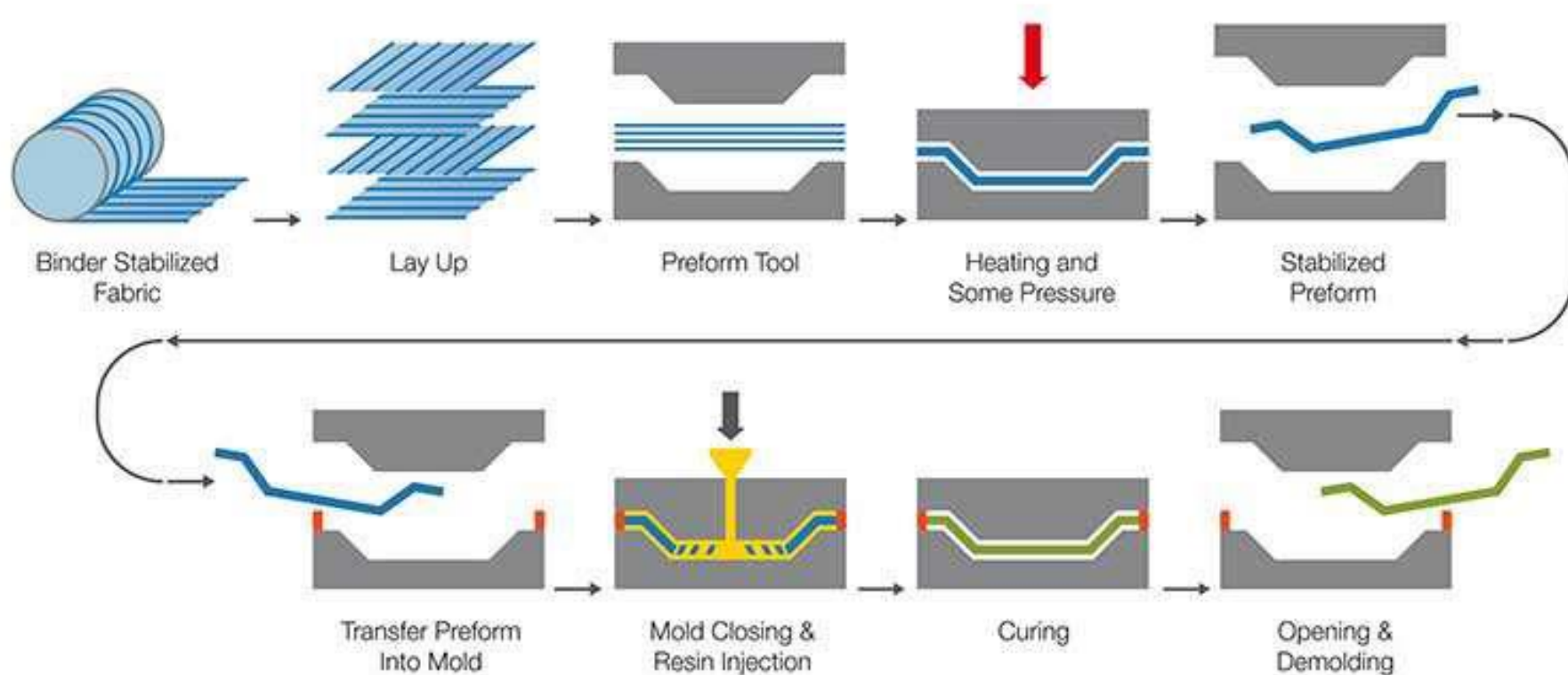
Curing

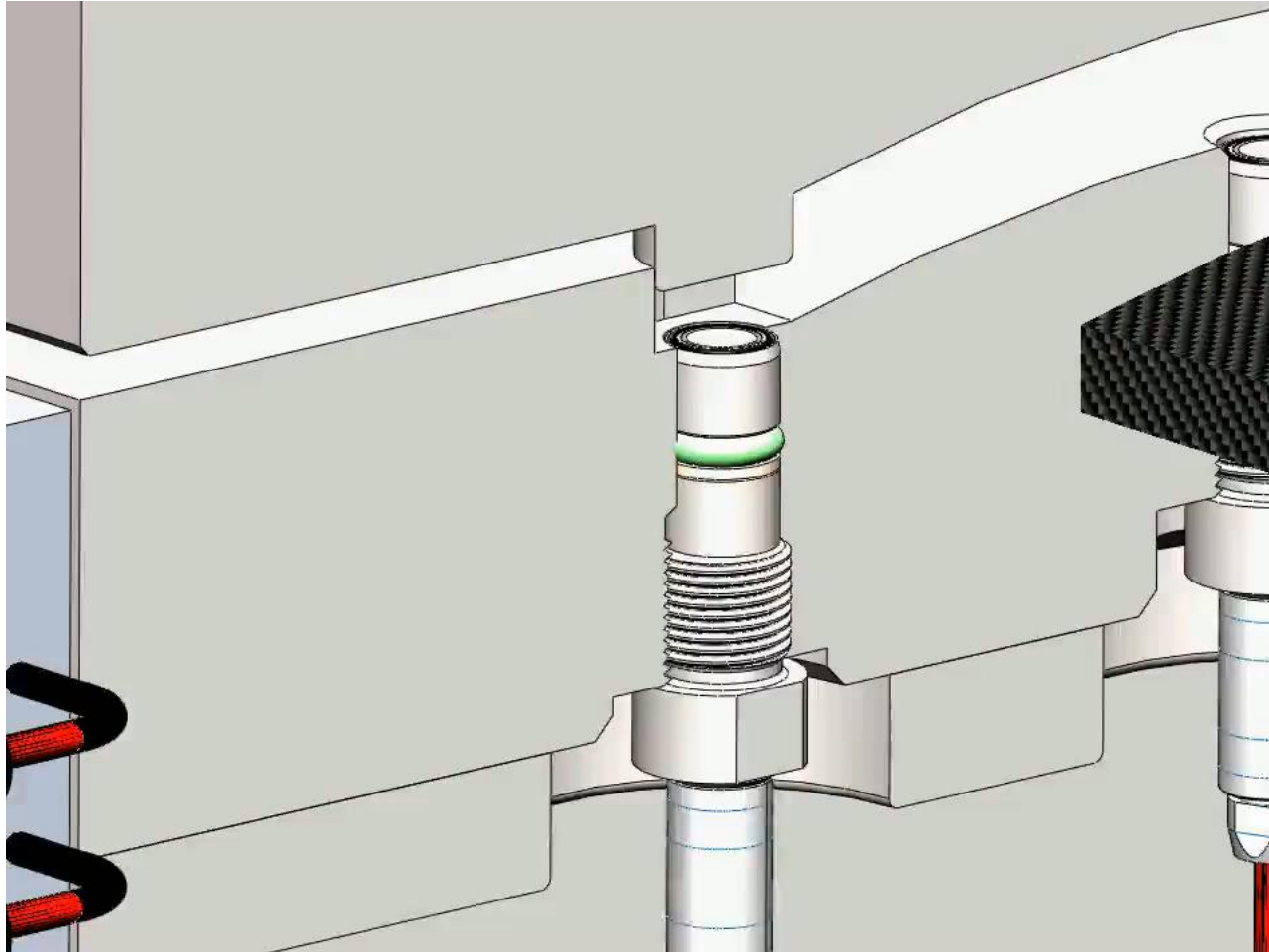


Opening &
Demolding



Resin Transfer Molding – Process Cycle







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

Al momento dell'iniezione, il monitoraggio del processo deve essere effettuato, e la verifica che si stia sviluppando correttamente è cruciale.

Esempi di parametri del processo da monitorare sono la pressione di iniezione, i punti di ingresso della resina e i punti di uscita della resina,

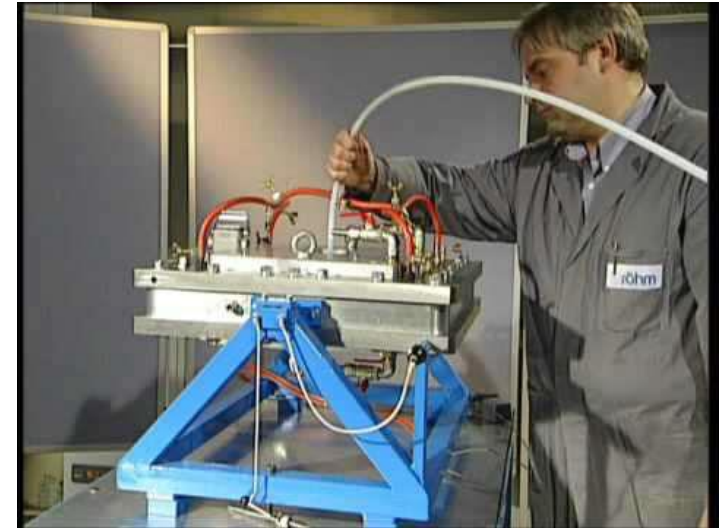
Lo stampo deve avere almeno un punto di iniezione della resina e uno di uscita per consentire, durante l'iniezione della resina, l'uscita dell'aria all'interno dello stampo. In pezzi più grandi, è comune, tuttavia, la presenza di diversi punti di ingresso e di uscita



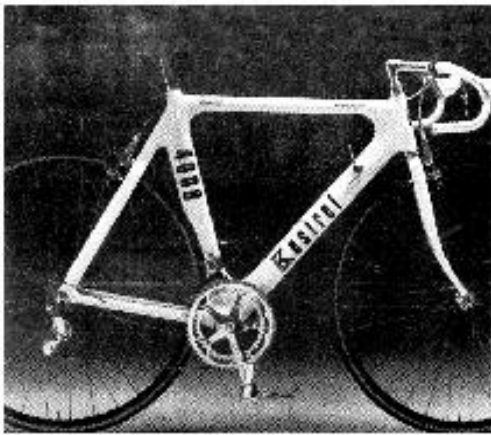
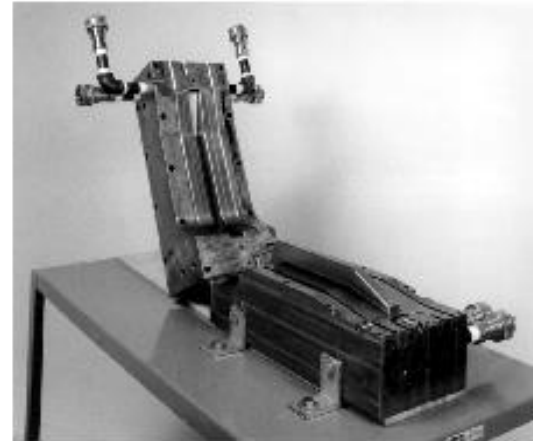
Pressione

- La pressione nello stampo è applicata utilizzando la pressione di iniezione della resina.
- Questo aiuta il flusso della resina all'interno dello stampo attraverso le cavità.
- Tipicamente, la pressione della resina è bassa, di solito nell'intervallo di 1-10 bar.

Valori più elevati possono causare: (a) trascinamento del rinforzo; (b) deformazione dello stampo; e (c) formazione di vuoti nel composito.



Applicazioni tipiche



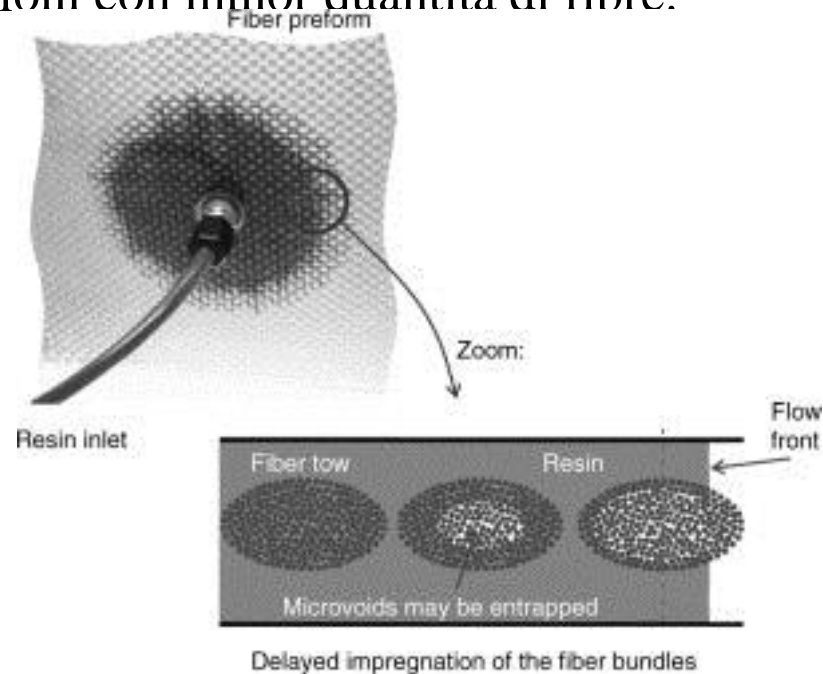


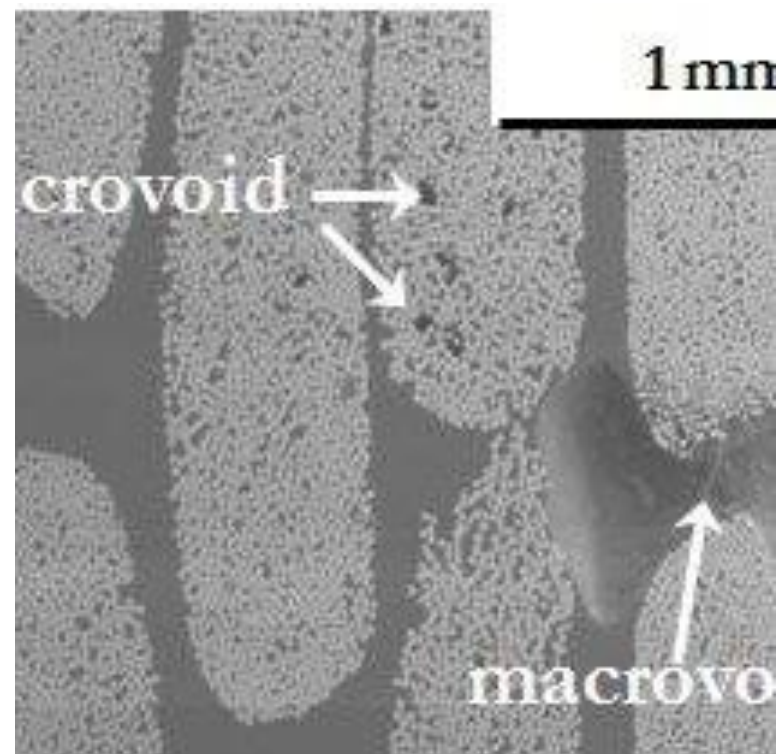
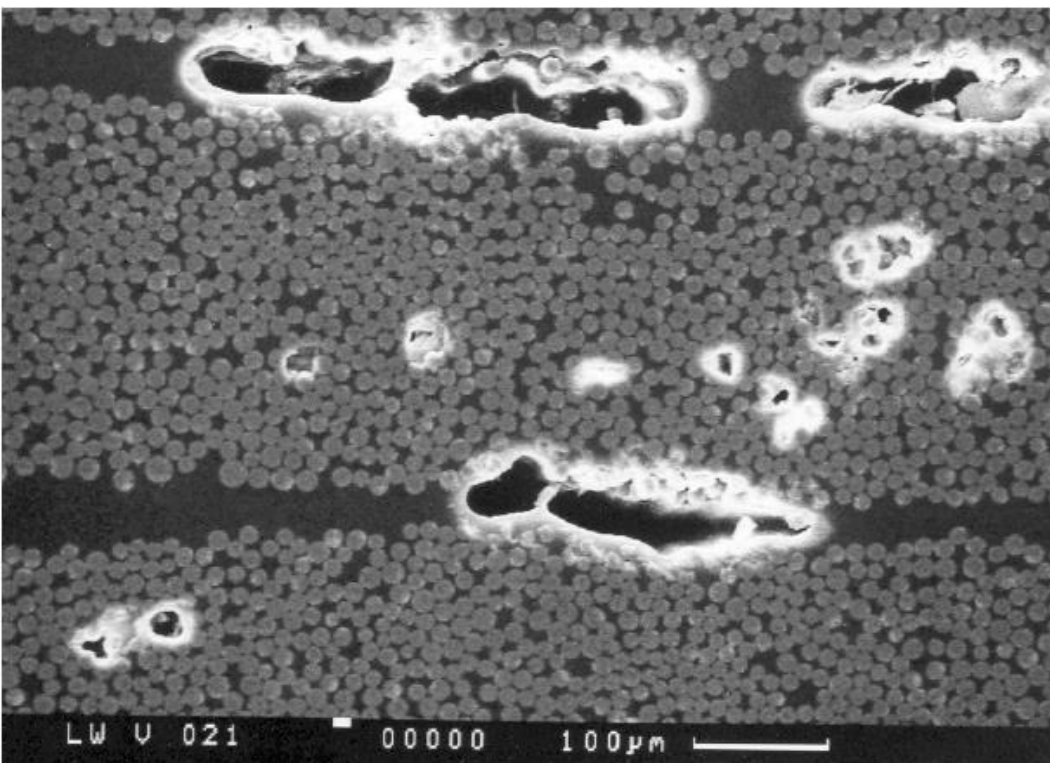
Per ottenere il **massimo delle proprietà meccaniche** dei compositi fabbricati mediante RTM, ogni singola fibra deve essere completamente "**bagnata**" dalla resina liquida e gli spazi vuoti devono essere ridotti al minimo possibile.

La bagnabilità delle fibre dipende dalle proprietà del materiale, come l'energia superficiale del sistema resina/fibra e il tempo di contatto. Oltre al problema della bagnabilità, possono verificarsi macro-vuoti generati dalla coalescenza del fronte di flusso; pertanto, la dinamica del fluido all'interno dello stampo è molto importante per le prestazioni del processo RTM.

Pertanto, per ottenere una buona stampatura RTM, è necessario conoscere e controllare diversi parametri di processo, come la viscosità, la pressione di iniezione, la frazione volumetrica delle fibre, la porosità e la temperatura e permeabilità del mezzo

La pressione e la velocità di iniezione della resina possono indurre difetti come la deformazione del preformato al momento dell'iniezione (wash-out delle fibre), la formazione di punti secchi in luoghi imprevedibili e il fenomeno del race tracking, ovvero il percorso preferito scelto dalla resina durante l'iniezione, che si verifica principalmente nelle regioni con minor quantità di fibre.





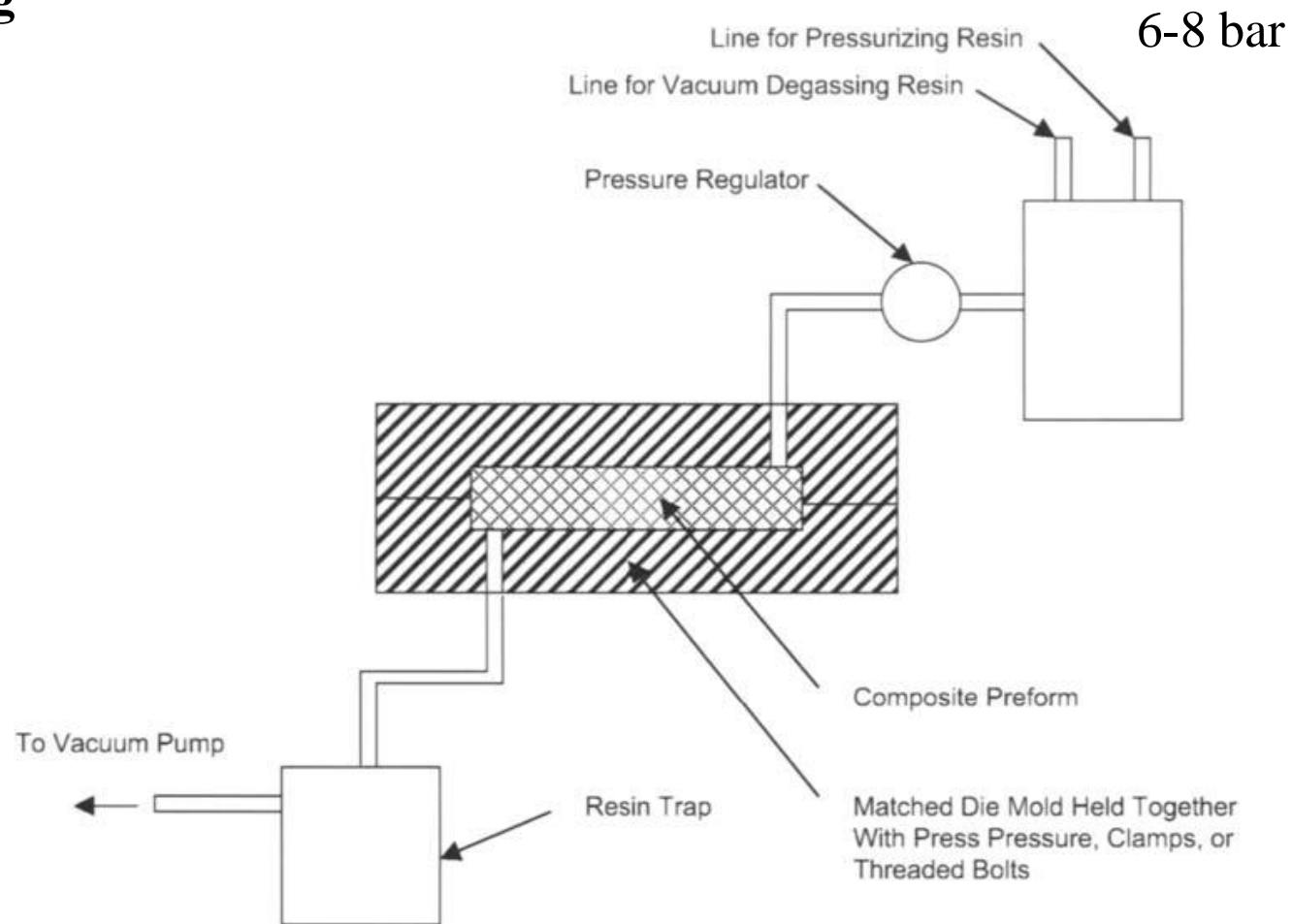
L'iniezione della resina segue **la legge di Darcy** del flusso attraverso un mezzo poroso che prevede che il tasso di flusso per unità di area (Q/A) sia proporzionale alla permeabilità della preforma (k) e al gradiente di pressione ($\Delta P/L$), e inversamente proporzionale alla viscosità (η) della resina e alla lunghezza del flusso (L):

$$\frac{Q}{A} = \frac{k \Delta P}{\eta L}$$

La viscosità della resina è una considerazione importante nella selezione di un sistema di resina per il processo RTM. Le resine a bassa viscosità sono desiderabili, con un intervallo ideale che si situa tra i 100 e i 300 centipoise (cps) [0,1-0,3 Pa.s], con circa 500 cps come limite superiore.

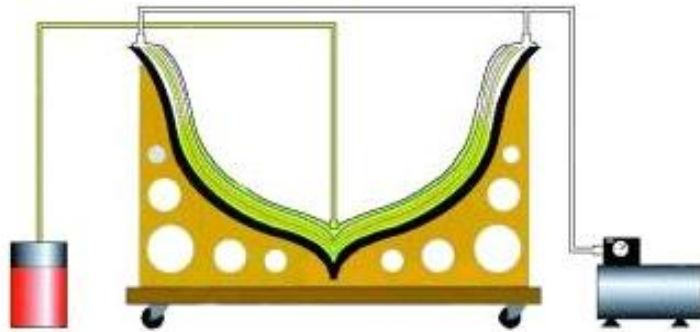


Vacuum degassing





VARTM (Vacuum Assisted RTM)



Svantaggi

- **Maggior costo rispetto alla stratificazione manuale**
- **Tempi di impregnazione più elevati**

Vantaggi

- **Applicabilità a manufatti di grandi dimensioni**
- **Molto bassa emissione di volatili**
- **Elevato contenuto di fibre: buone proprietà**

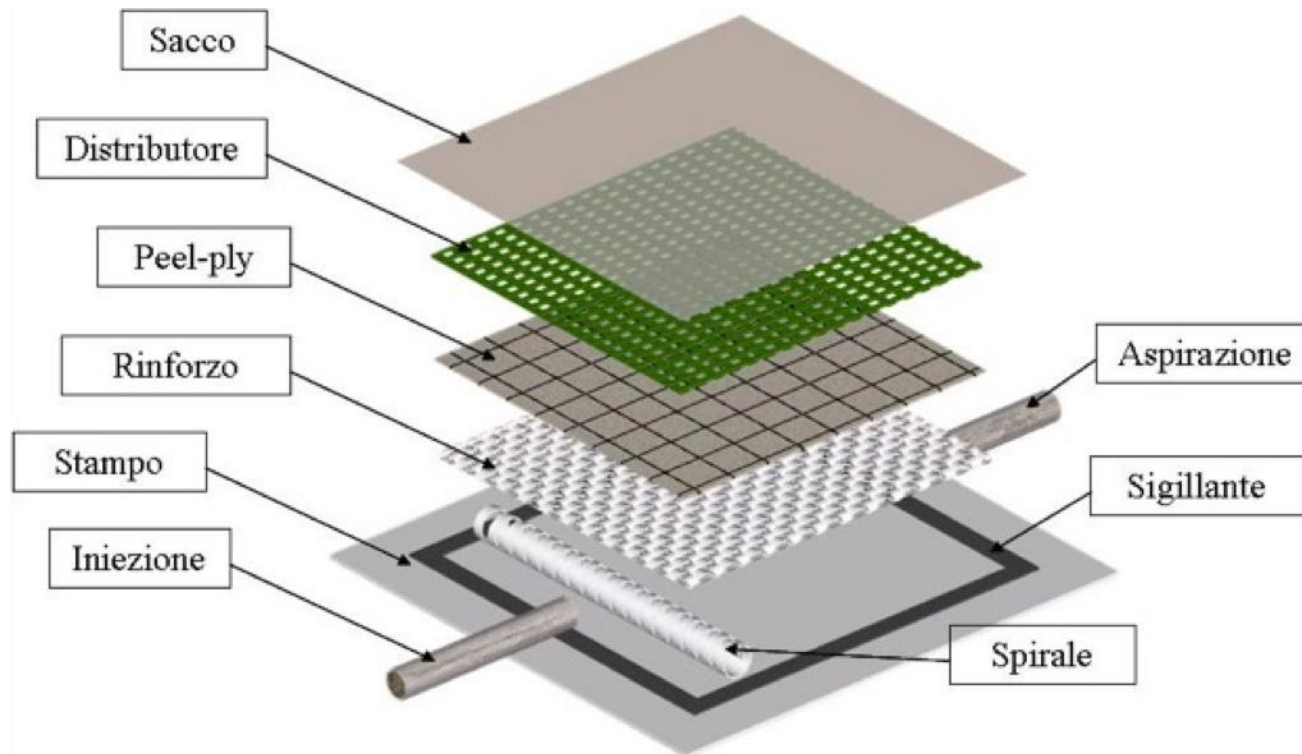


VARTM (Vacuum Assisted RTM)

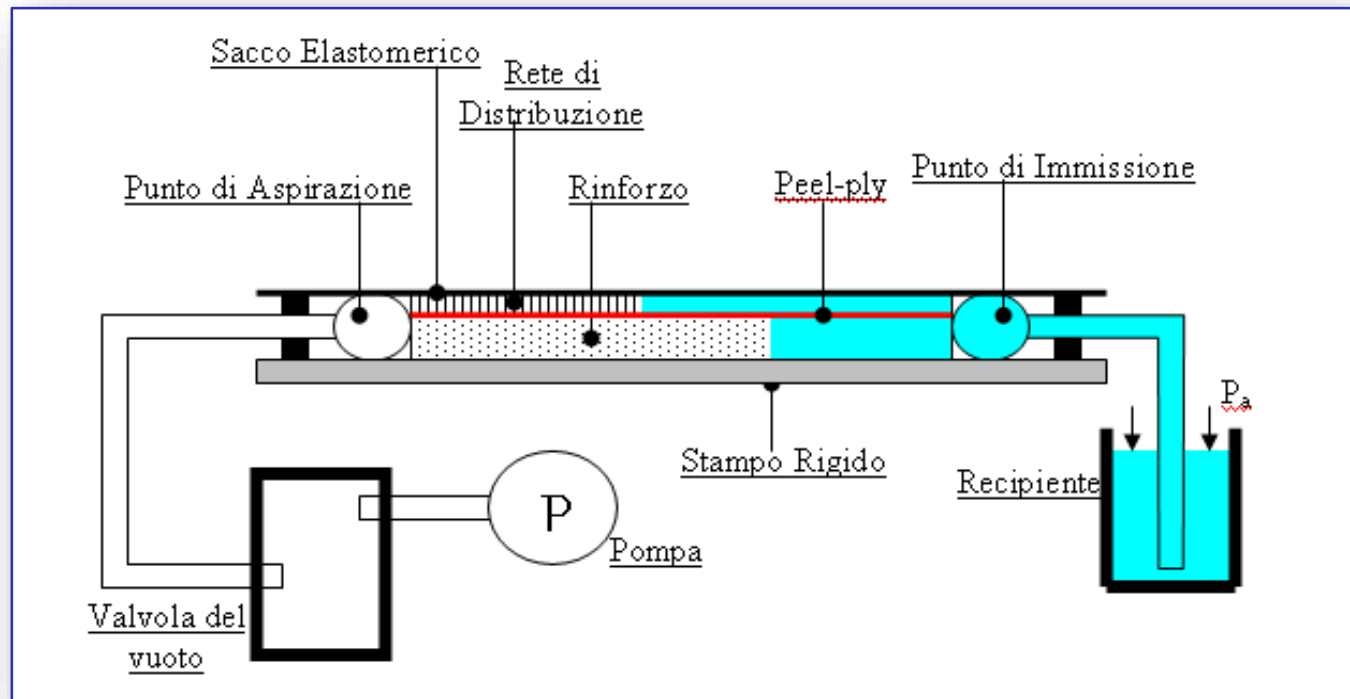




RIFT (Resin Infusion Flexible Tool)



RIFT (Resin Infusion Flexible Tool)

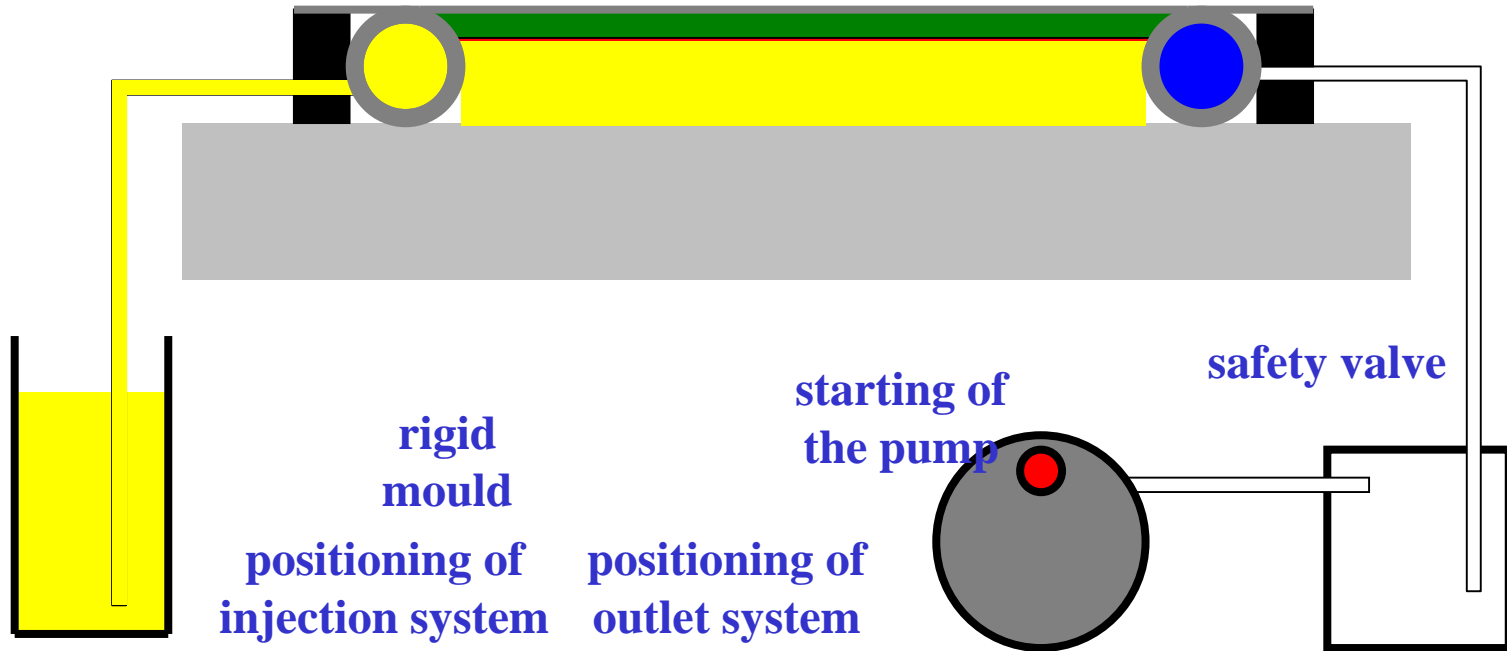




Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale
 Università di Napoli "Federico II"

VARTM (Vacuum Assisted
 RTM)-fasi del processo

positioning of
 flexible tool
 positioning of
 completion of the
 distributor of
 reinforcement
 ready
 positioning of
 reinforcement

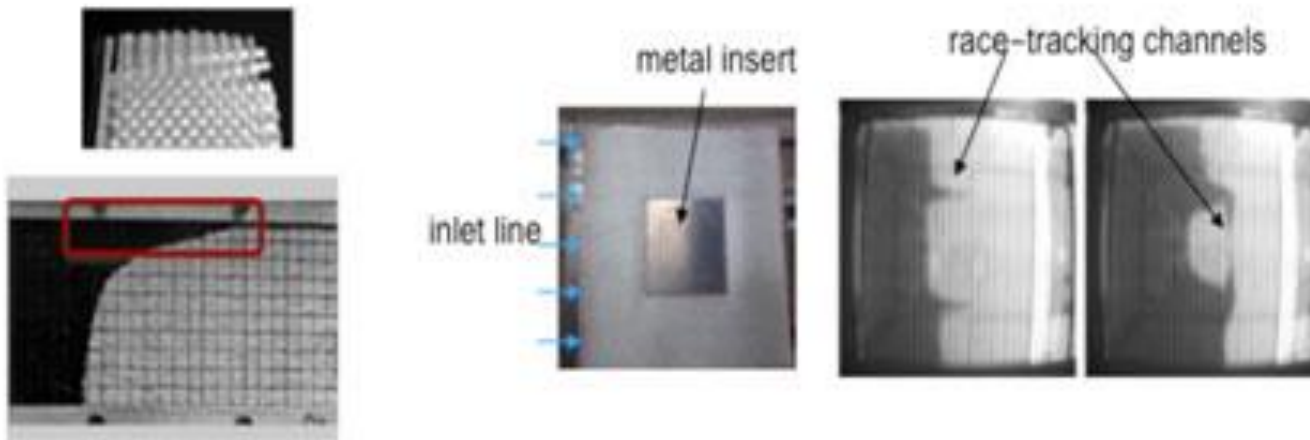




Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Università di Napoli “Federico II”

Race-Tracking:

Caused by open channels created between the mold and preform edges or along sharp bends in reinforcement or between preform and inserts in the mold which are low resistance paths for the resin compared to preform.



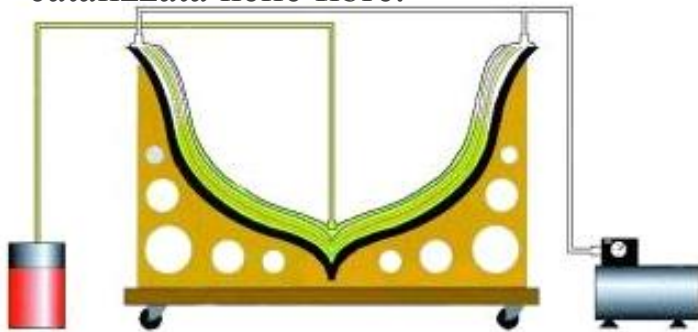




VARTM (Vacuum Assisted RTM)

Si differenzia dalla tradizionale grazie all'ausilio delle pompe da vuoto.

Il vuoto d'aria creatosi all'interno dello stampo favorisce l'iniezione della resina migliorando l'omogeneità dell'impregnazione e garantendo una maggiore velocità di trasmissione della resina catalizzata nelle fibre.



Contro

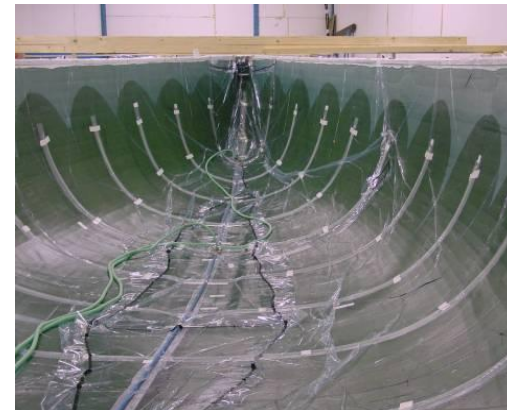
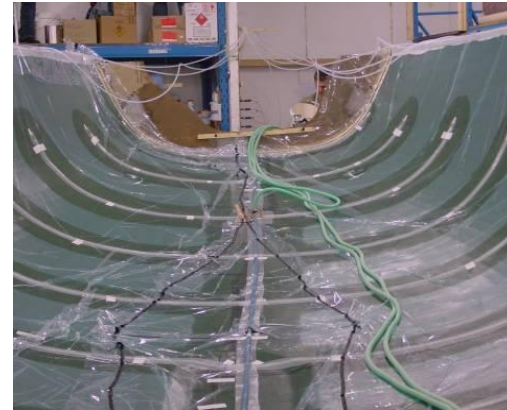
- **Maggior costo rispetto alla stratificazione manuale**
- **Tempi di impregnazione elevati**

Pro

- **Applicabilità a manufatti di grandi dimensioni**
- **Bassa emissione di volatili**
- **Elevato contenuto di fibre: buone proprietà**



Impregnazione di uno scafo





Resin Film Infusion (RFI)

