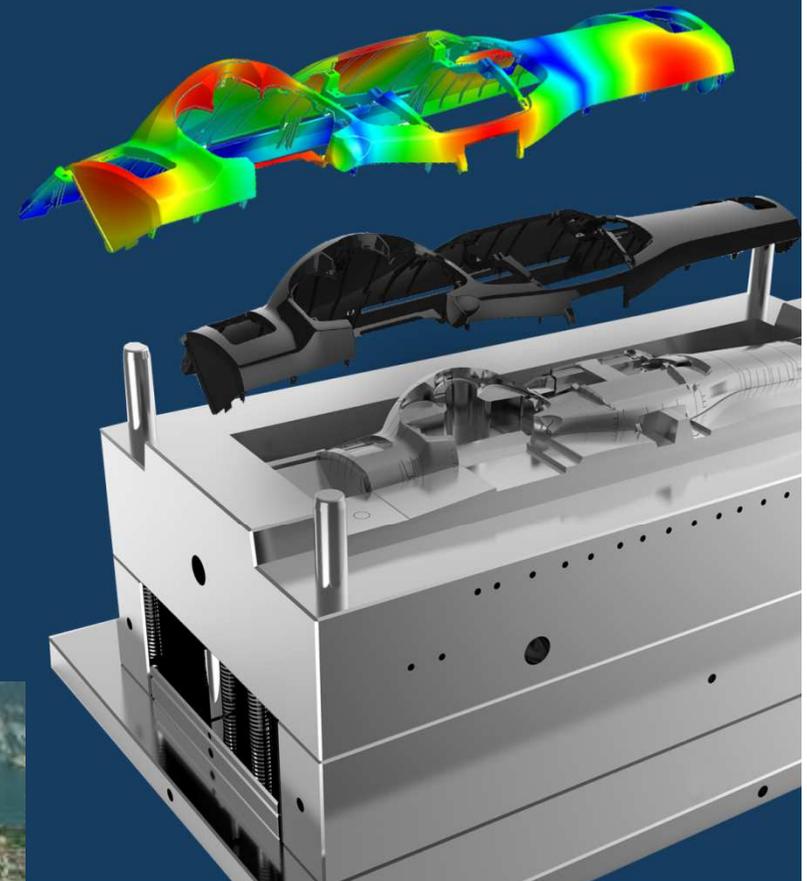


# Moldex3D

## Simulazione di un processo RTM (Resin Transfer Molding) in ambiente aeronautico

CETMA  
Michele Rizzo



MID Molding Innovation Day 2018, Italy

14 June, 2018

Hotel dei Parchi del Garda, Lazise, Italy

# Agenda

**01**

## Introduzione

- Il processo di RTM
- Problems & challenges
- Perché simulare il processo RTM?

**02**

## Moldex3D

- Cosa può simulare?
- Potenzialità nuova realease R16

**03**

## Il laboratorio CETMA

- Attività di supporto alla progettazione del processo di RTM

**04**

## Validazione del software

- Caso studio: Rib aeronautica

**05**

## Casi studio

- Caso studio 1: Fitting
- Caso studio 2: Pannello con stringers

**06**

## Conclusioni

# CETMA

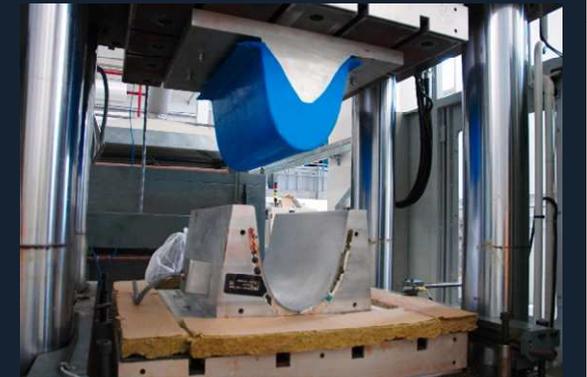
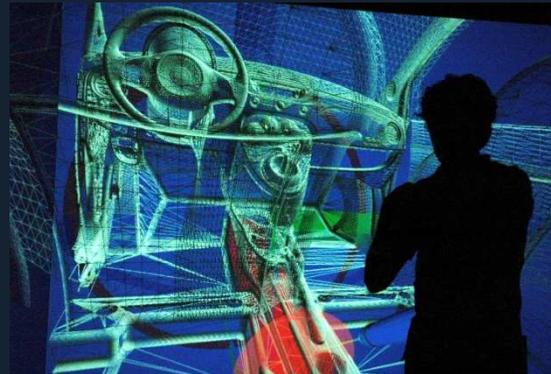
*Non-profit Research and Technology Organization*

Administration: 15

AMP Department: 33

NED Department: 30

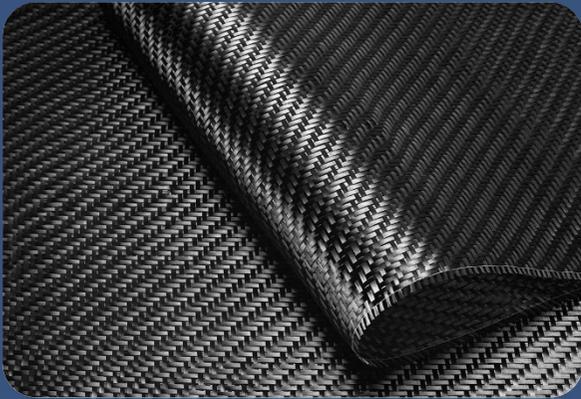
- 85 employees
- 4000 m<sup>2</sup> of headquarters (offices, laboratories, a Virtual Reality Center)
- 87 Research Projects
- 20 Advanced Education Projects
- 700 Service Contracts



# CETMA

Material & Sector

## Composite



AERONAUTICS

SPORT

BUILDING  
INFRASTRUCTURE

## Polymer



TEXTILE

MARINE

AUTOMOTIVE

ARTS

WIND

LIGHTING

## Ceramic



FURNITURE

AGROINDUSTRY

SAFETY

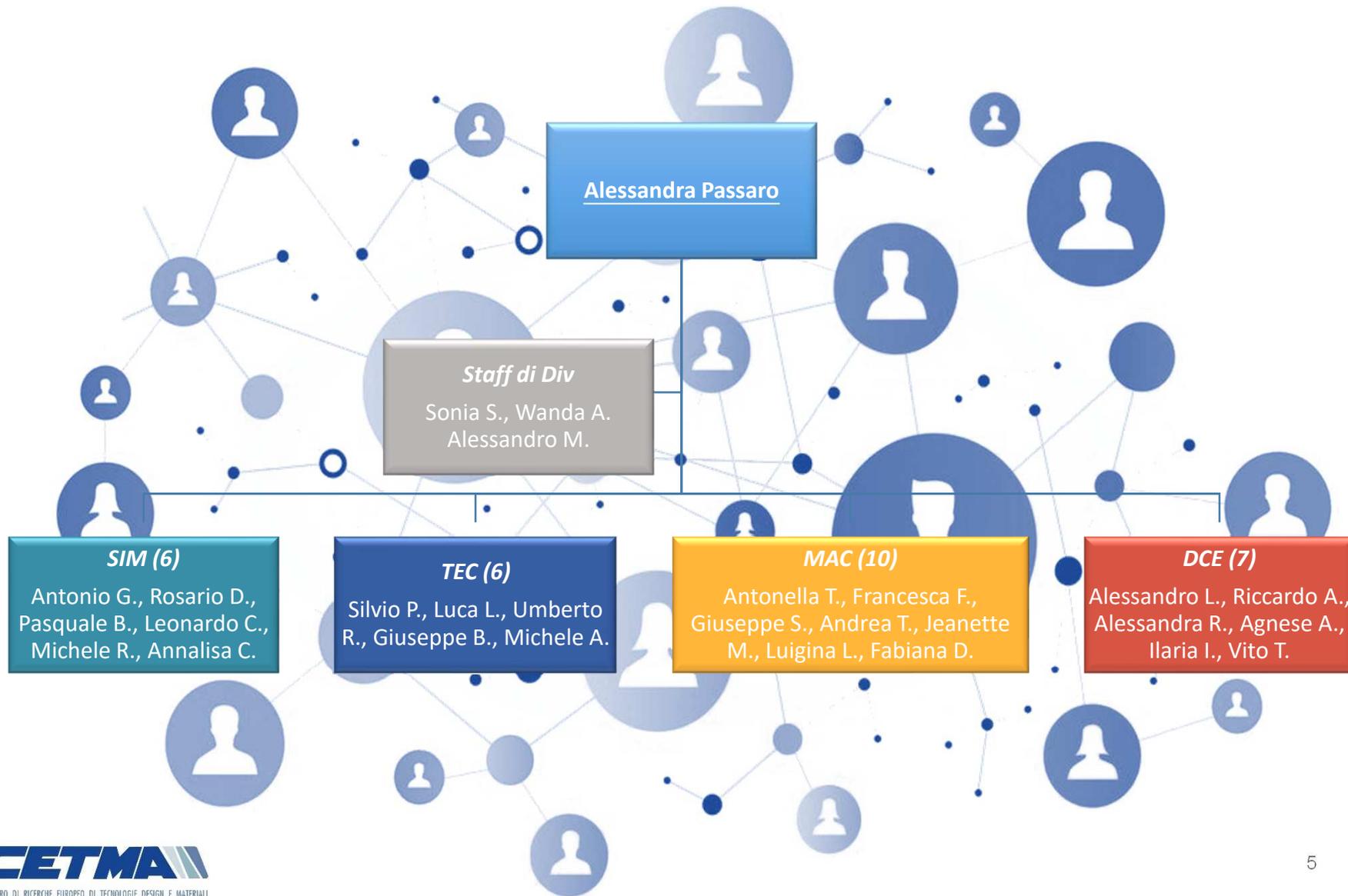
PACKAGING

MEDICAL

INSTRUMENTAL  
GOODS

# CETMA

## AMP Department



## SIM AREA

### Meet the team

**Antonio Gerardi**

Area and Projects Manager.

---

**Rosario Dotoli**

Projects management.  
**Explicit Analyses** (impact, crash, explosion, ballistic...)  
 Composite materials.  
 Mechanical characterization.

---

**Pasquale Bene**

Projects management  
**Implicit analyses** (structural, fatigue, thermal)  
 Ceramic and composite materials.  
 Mechanical and physical characterization.

---

**Leonardo Cosma**

**Thermal Analyses and Electro-magnetic Analyses.**  
 User Defined Function and Programming.

---

**Michele Rizzo**

**Virtual Characterization**  
 Ceramic and composite materials.  
 Mechanical and physical characterization

---

**Annalisa Cassinelli**

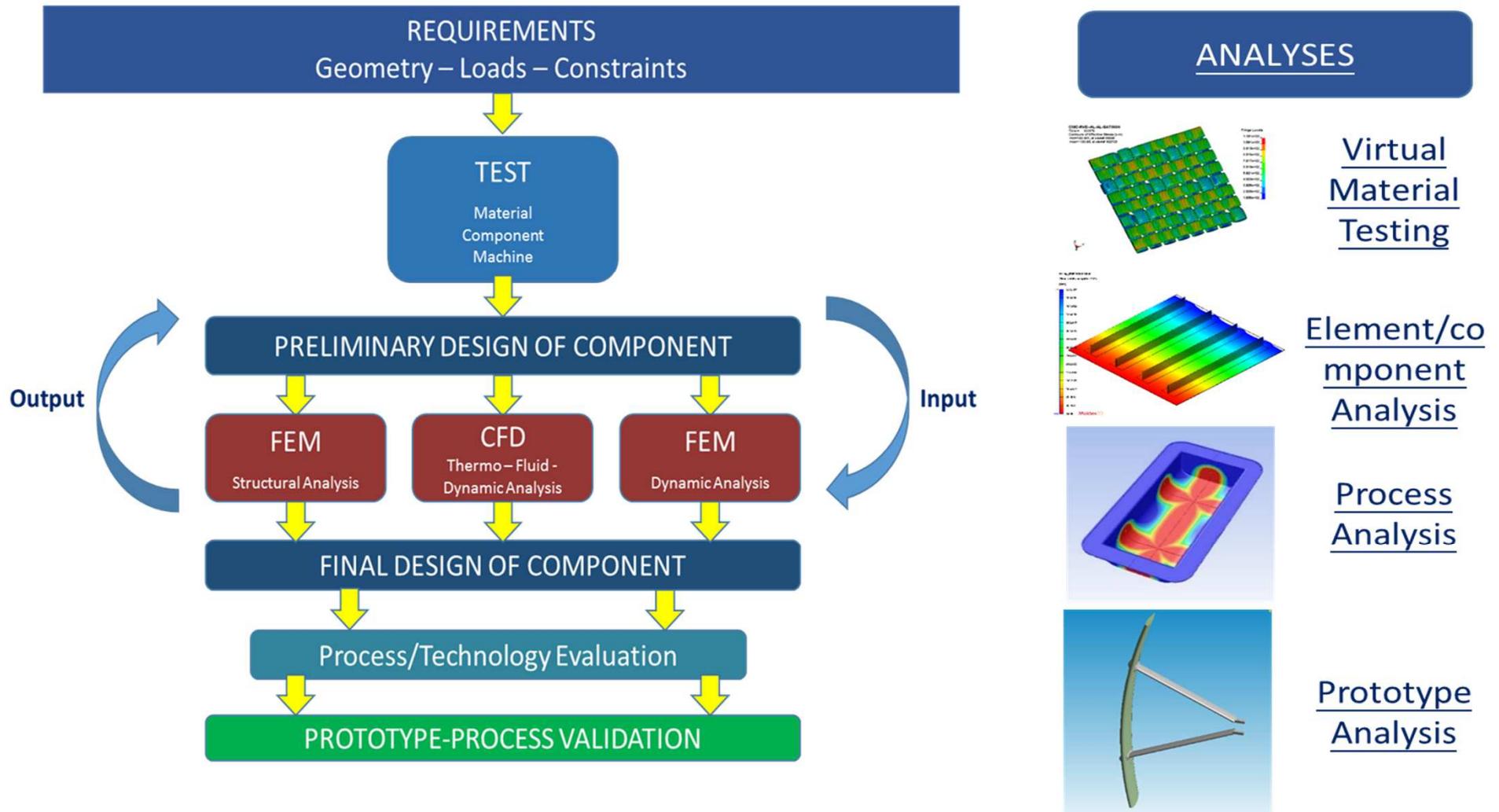
**Thermo-fluid-Dynamic Analyses**  
**RTM processes modelling, Draping Analyses**  
 Composite materials.

---



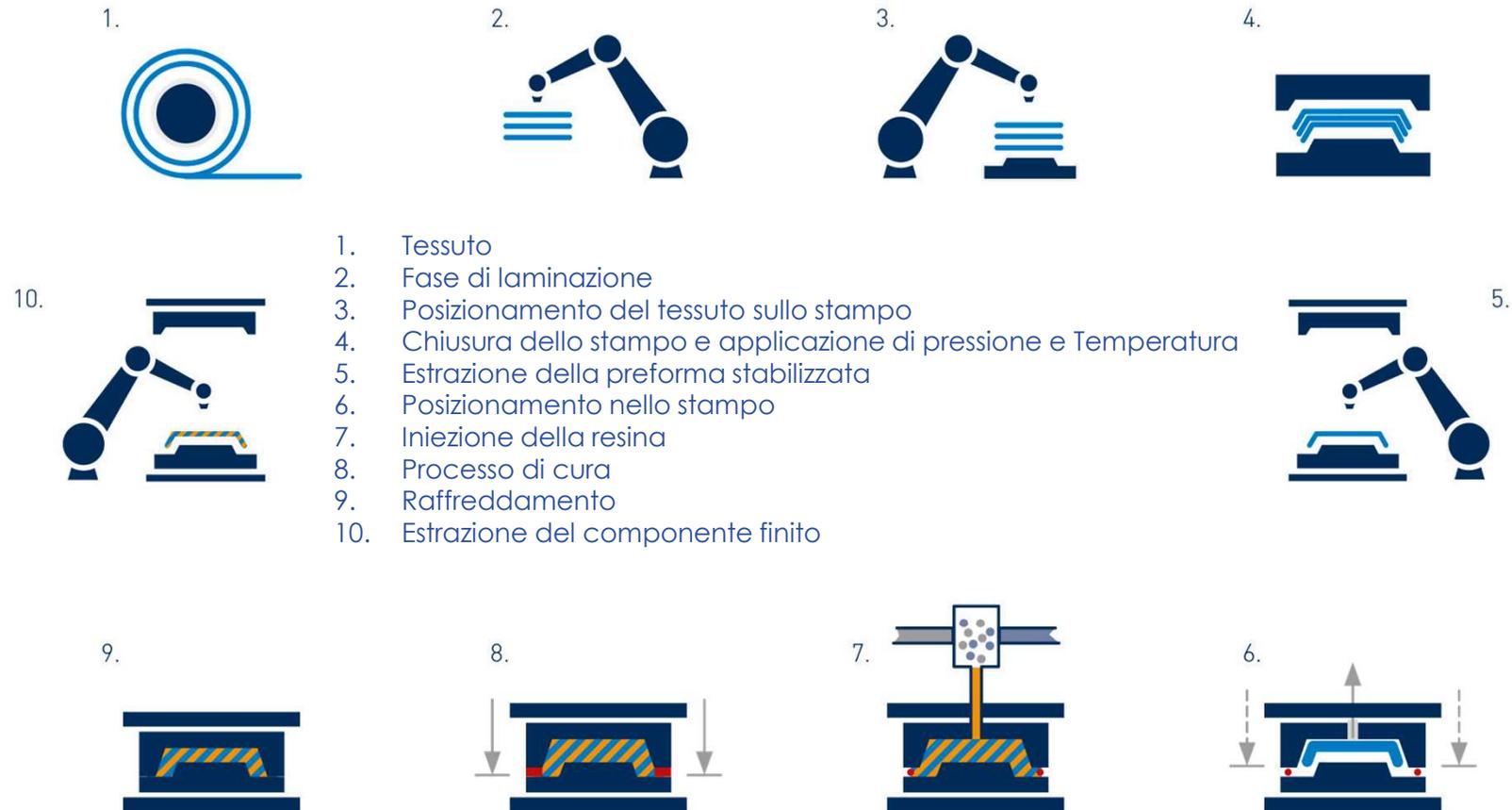
# SIM AREA

Our vision: what?



## Introduzione

### Il processo di RTM

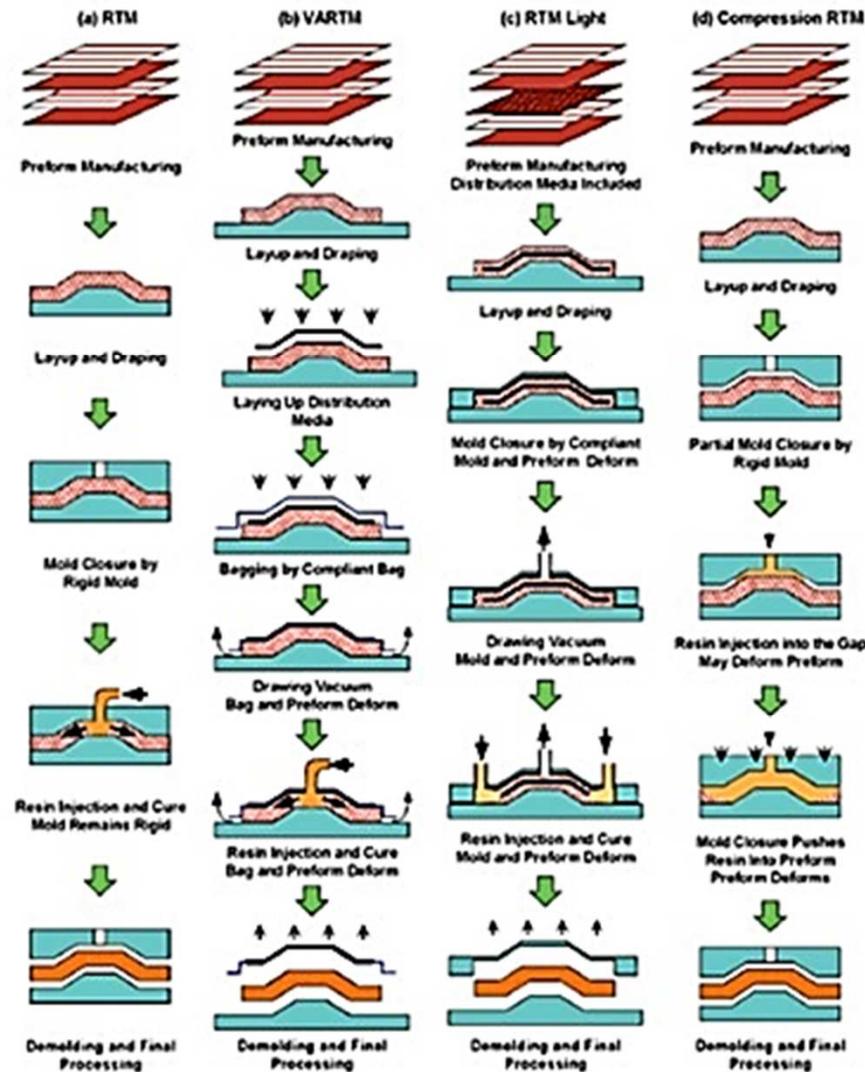


# Introduzione

## Il processo di RTM

Overview dei differenti processi di RTM:

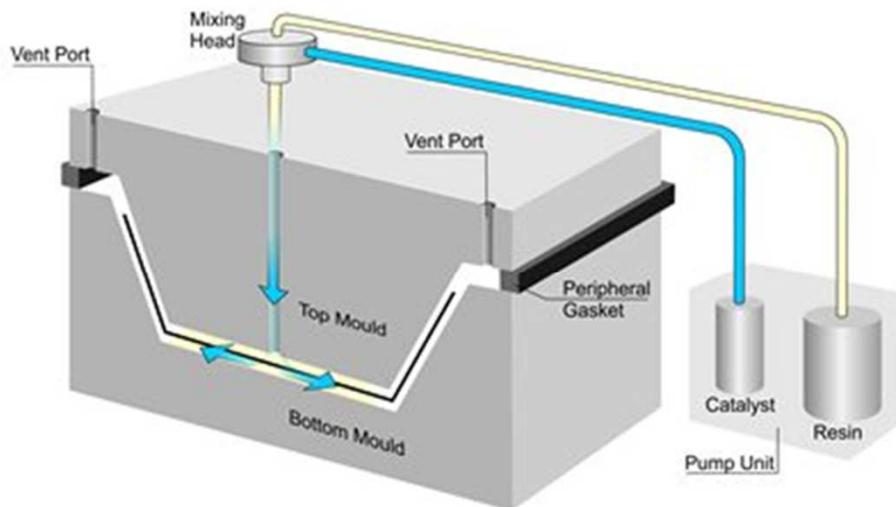
- ❖ RTM
- ❖ VARTM
- ❖ RTM light
- ❖ Compression RTM



Pavel Simacek, Suresh G. Advani, "Modeling resin flow and fiber tow saturation induced by distribution media collapse in VARTM", *Composites Science and Technology*, Volume 67, Issue 13, October 2007, Pages 2757–2769

## Introduzione

### Il processo di RTM



#### Vantaggi del processo di RTM:

- ✓ Buona qualità della superficie
- ✓ Basso contenuto di aria intrappolata
- ✓ Ampia gamma di rinforzi
- ✓ Grandi forme complesse
- ✓ Tolleranze dimensionali
- ✓ Basso investimento di capitale
- ✓ Minore spreco di materiale
- ✓ Flessibilità dei tools
- ✓ Basso impatto ambientale
- ✓ Risparmio del lavoro
- ✓ Possibilità di aggiungere inserti e rinforzi

# Il processo di RTM

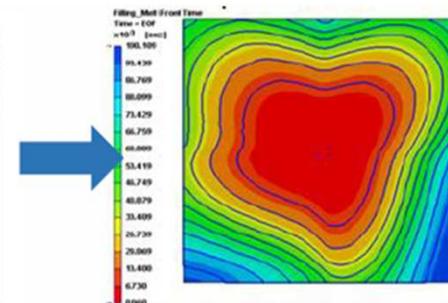
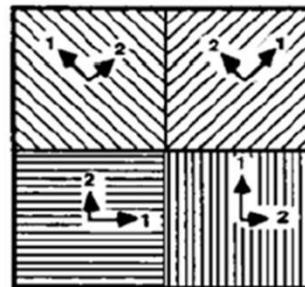
## Problems & Challenges

### ❖ Difetti

- Riempimento incompleto
- Intrappolamento di aria
- Weld line

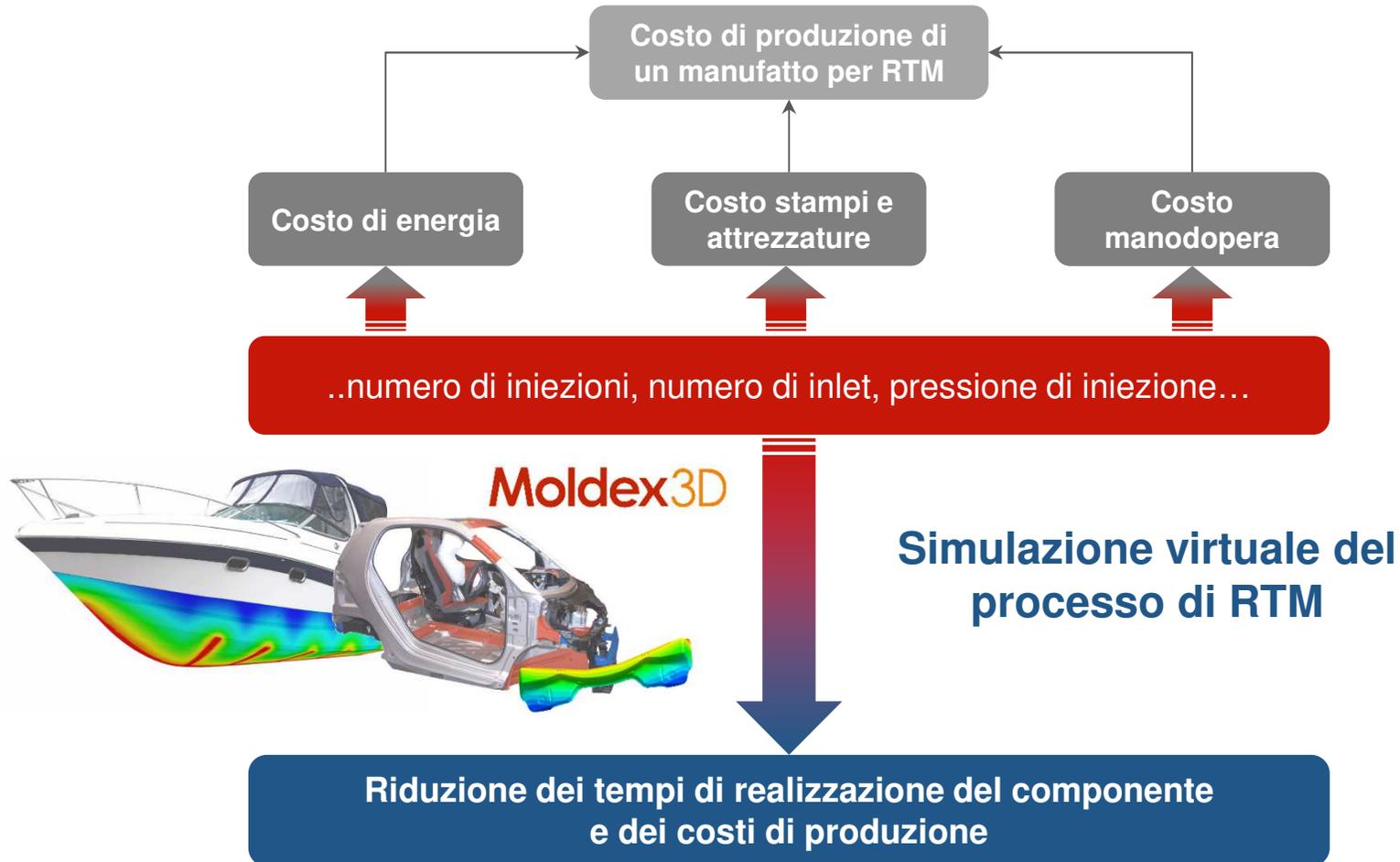
### ❖ Processo

- Ottimizzazione delle condizioni di processo (temperatura stampo, temperatura di iniezione della resina, pressione di iniezione, posizionamento dei gate...)
- Tener conto delle proprietà del materiale in funzione dell'orientazione delle fibre



# Il processo di RTM

Perché simulare il processo di RTM?

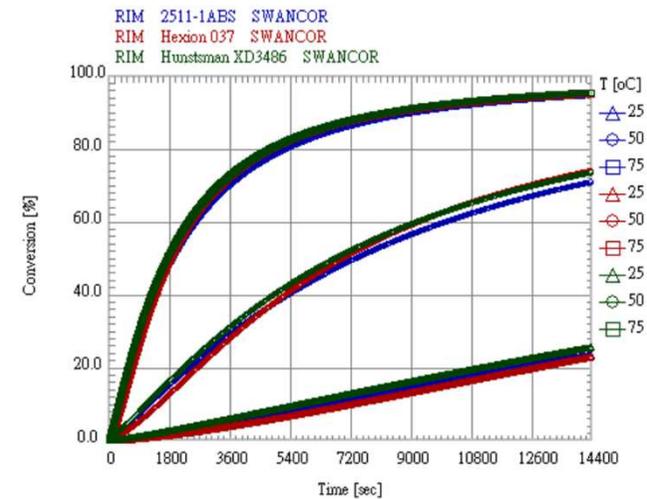


## Moldex3D

### Cosa può simulare?

- ❖ La distribuzione di temperatura
- ❖ La cinetica di cura

$$\frac{d\alpha}{dt} + \mathbf{u}\nabla\alpha = (Ka + Kb \cdot \alpha^m) \cdot (1 - \alpha)^n$$



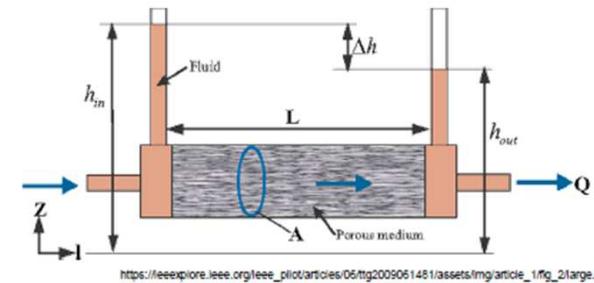
## Moldex3D

### Cosa può simulare?

- ❖ La distribuzione di temperatura
- ❖ La cinetica di cura
- ❖ Il flusso di resina

### Legge di Darcy

$$\vec{u} = -\frac{K}{\eta} \nabla P$$



$$\eta(\dot{\gamma}, T, \alpha) = \frac{\eta_0(T) \left( \frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha} \right)^{c1+c2\alpha}}{1 + \left( \frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\dot{\gamma}^*} \right)^{1-n}}$$

{

$\left( \frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha} \right)^{c1+c2\alpha}$

Curing effect

$\eta_0 = A \exp\left(\frac{T_b}{T}\right)$

Temperature effect

$\left( \frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\dot{\gamma}^*} \right)^{1-n}$

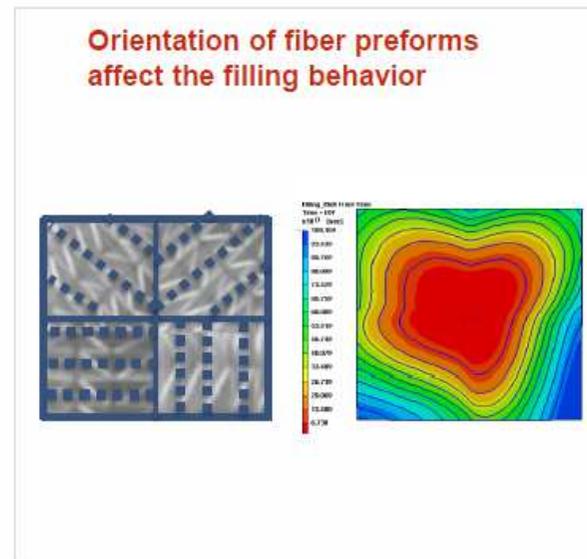
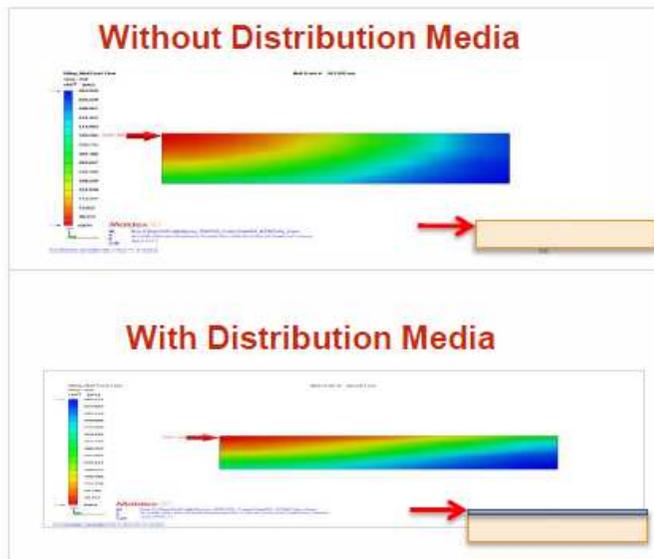
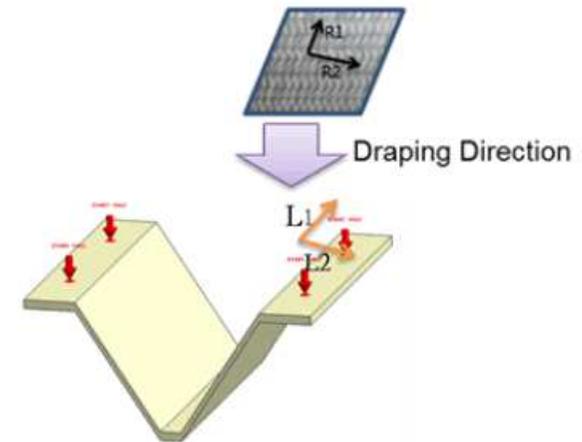
Shear rate effect

## Moldex3D

### Cosa può simulare?

- ❖ La distribuzione di temperatura
- ❖ La cinetica di cura
- ❖ Il flusso di resina
- ❖ Zone a differente permeabilità

$$K = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix}$$

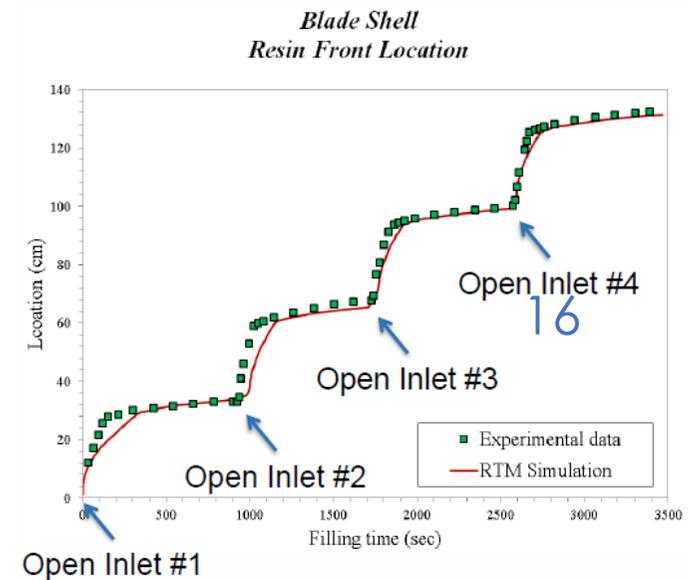
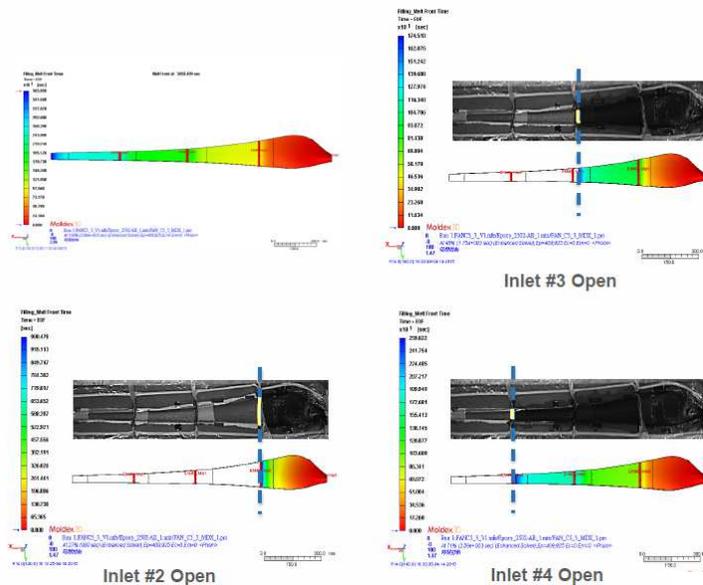


L'orientazione delle fibre ha una forte influenza sulla direzione del flusso

## Moldex3D

### Cosa può simulare?

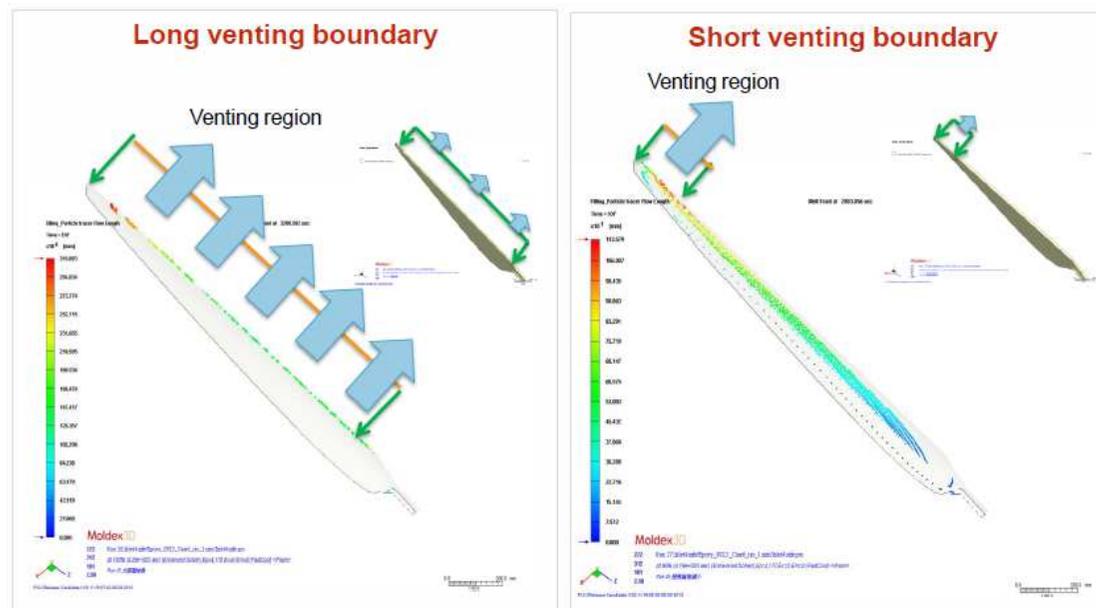
- ❖ La distribuzione di temperatura
- ❖ La cinetica di cura
- ❖ Il flusso di resina
- ❖ Zone a differente permeabilità
- ❖ Multi-inlet controllati mediante sensori virtuali
- ❖ Iniezione di resina in controllo di pressione o di flow rate



## Moldex3D

### Cosa può simulare?

- ❖ La distribuzione di temperatura
- ❖ La cinetica di cura
- ❖ Il flusso di resina
- ❖ Zone a differente permeabilità
- ❖ Multi-inlet controllati mediante sensori virtuali
- ❖ Iniezione di resina in controllo di pressione o di flow rate
- ❖ Effetto dei venting sul riempimento della preforma mediante il particle tracer

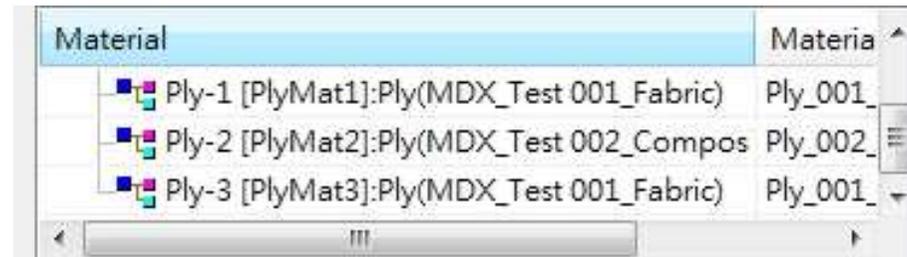


## Moldex3D

### Potenzialità della nuova release R16

#### ❖ RTM Pre-processor

- RTM wizard aiuta l'utente ad importare dati riguardanti il draping, alla generazione della mesh, a specificare i ply group, le BC e i material group

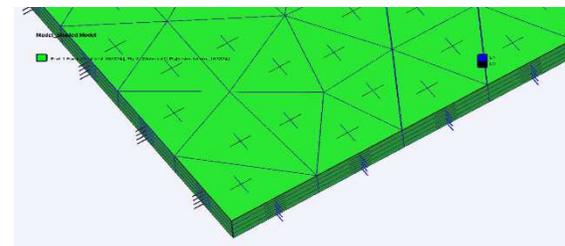
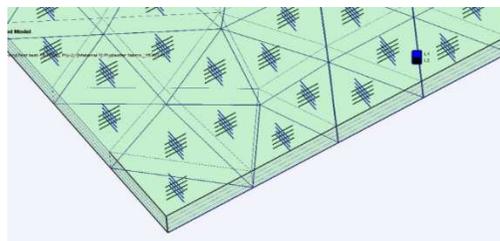


#### ❖ Ply Material

- Proprietà di permeabilità per ogni ply group

#### ❖ Ply Orientation Display

- Orientazione dei Ply per tutti gli elementi o solo sulla skin

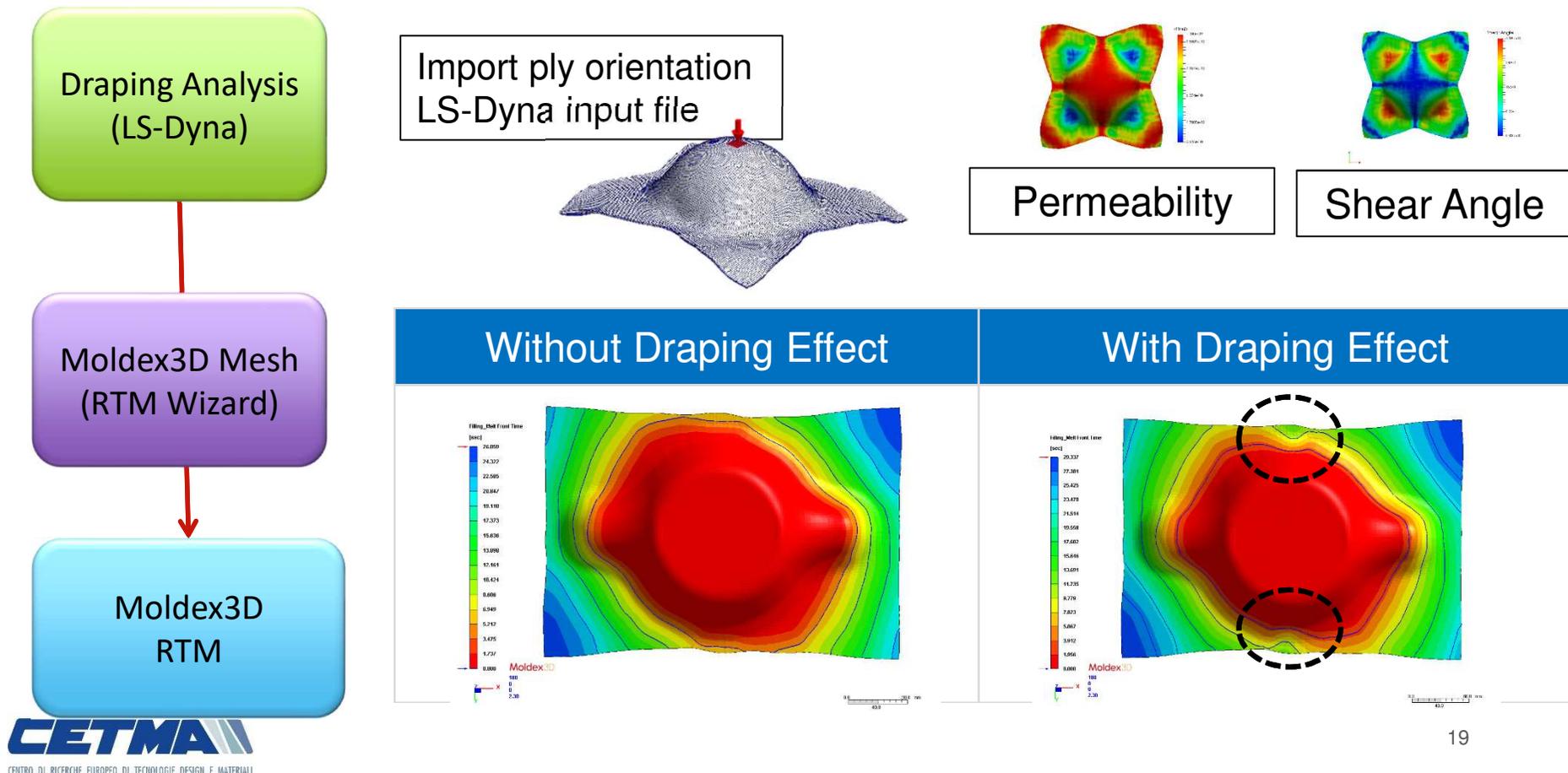


## Moldex3D

### Potenzialità della nuova release R16

#### ❖ Draping Effect

- I risultati di draping possono essere importati in Moldex3D Mesh durante la generazione della mesh e i risultati dell'analisi saranno condizionanti dall'effetto del draping

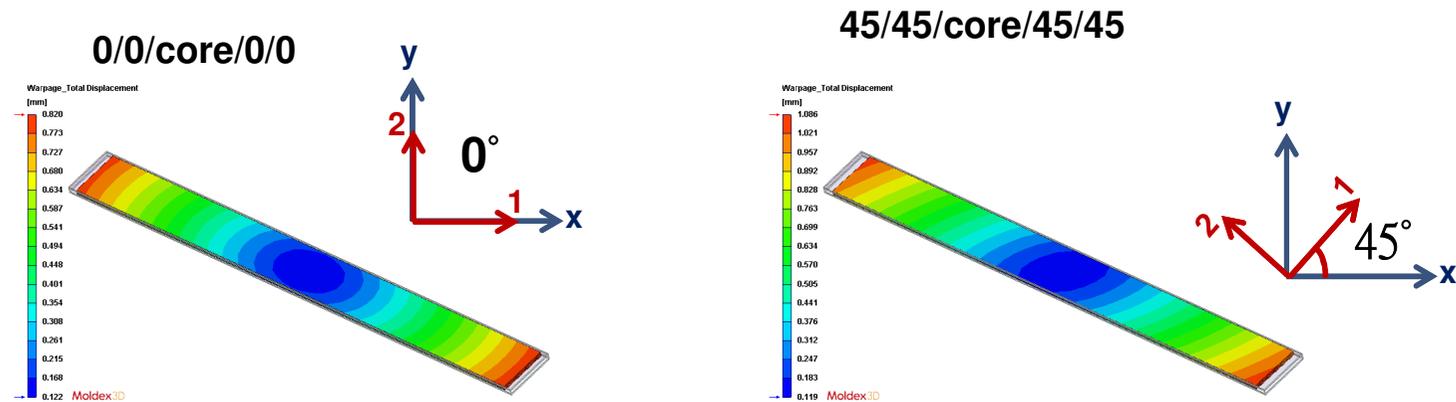


## Moldex3D

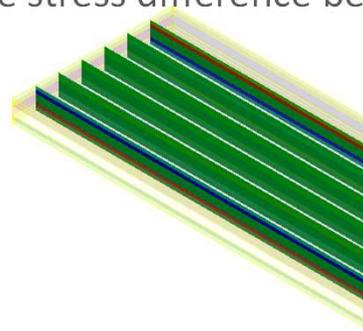
### Potenzialità della nuova release R16

#### ❖ Warpage analysis

- Supporta il warpage considerando l'orientazione delle fibre
- Le proprietà strutturali dei compositi Multi-layer sono calcolati nel multi-component module

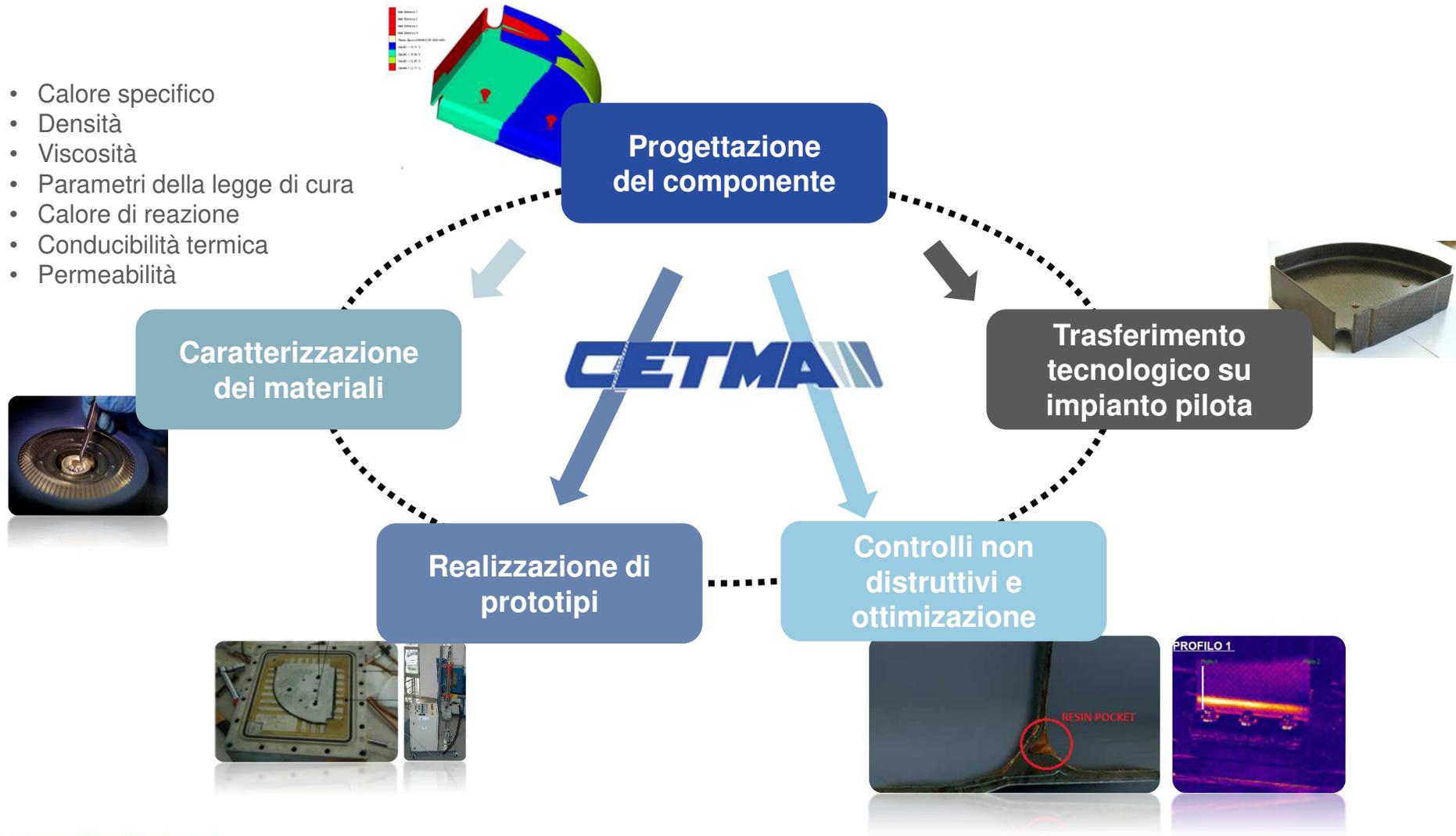


- 3D simulation to show the stress difference between layers in micro-structure.



# Il laboratorio CETMA

Attività di supporto alla progettazione del processo di RTM

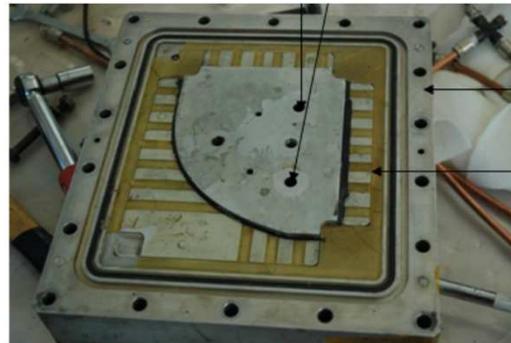


# Validazione del software

Caso studio: RIB aeronautica



Realizzazione della preforma



Progettazione dello stampo e definizione dei parametri di processo



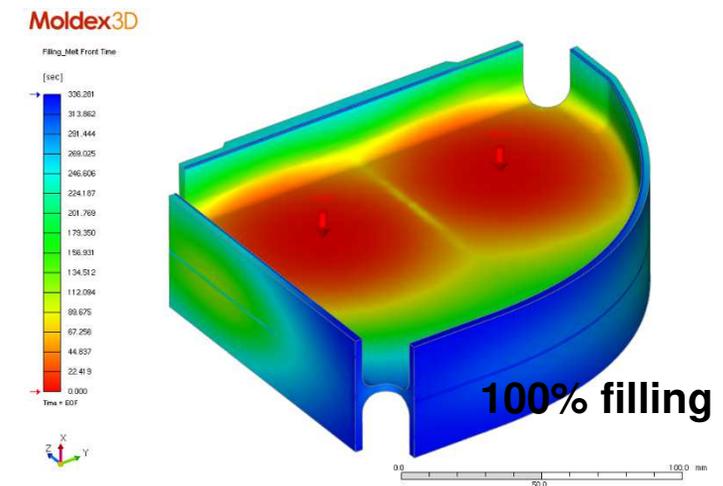
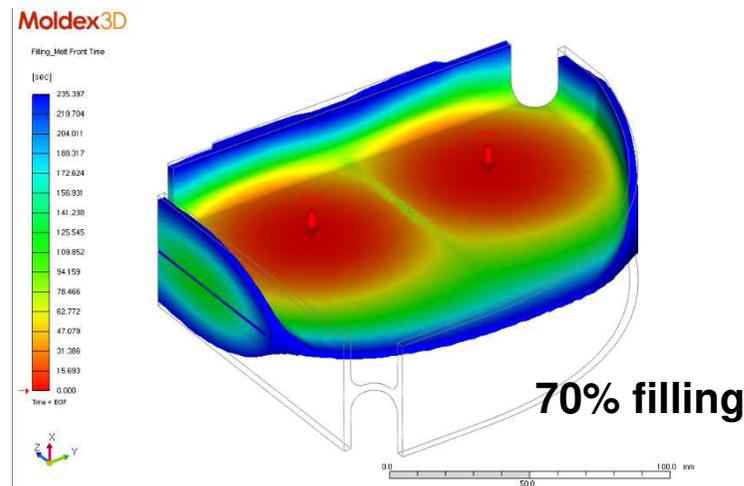
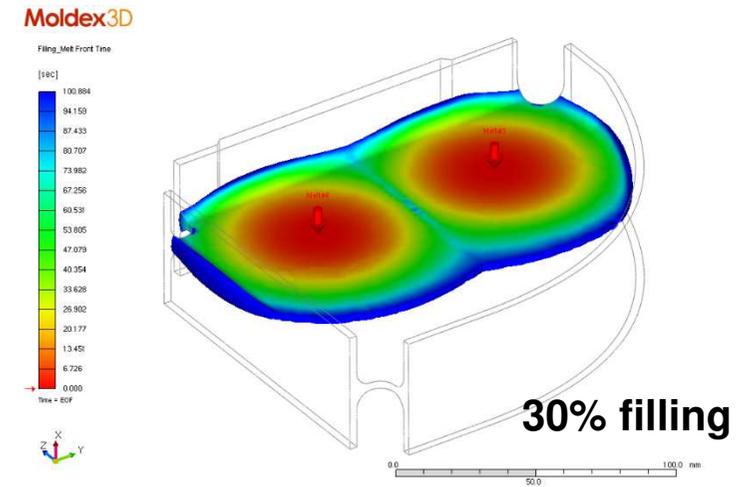
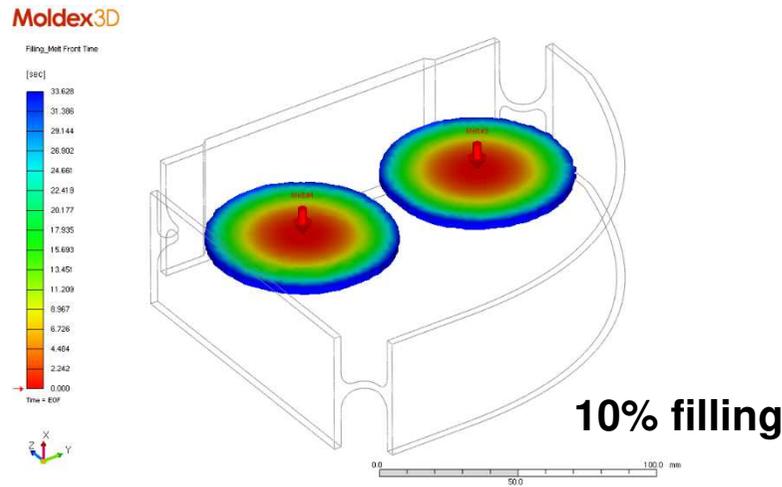
Realizzazione del componente finito



Tempo di riempimento sperimentale = 7,2 min

## Validazione del software

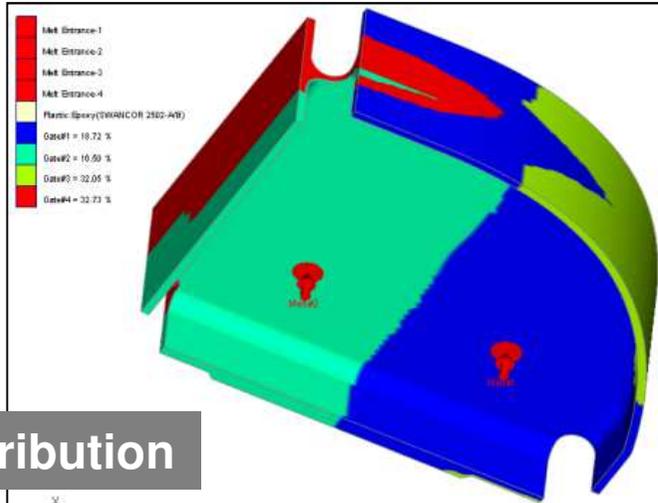
### Caso studio: RIB aeronautica



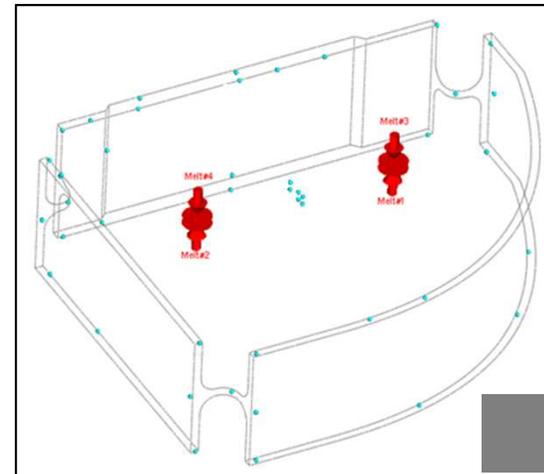
Tempo di riempimento Moldex3D = 7,3 min

# Validazione del software

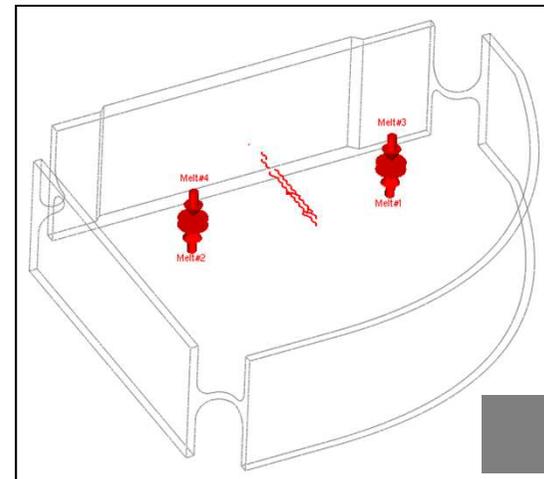
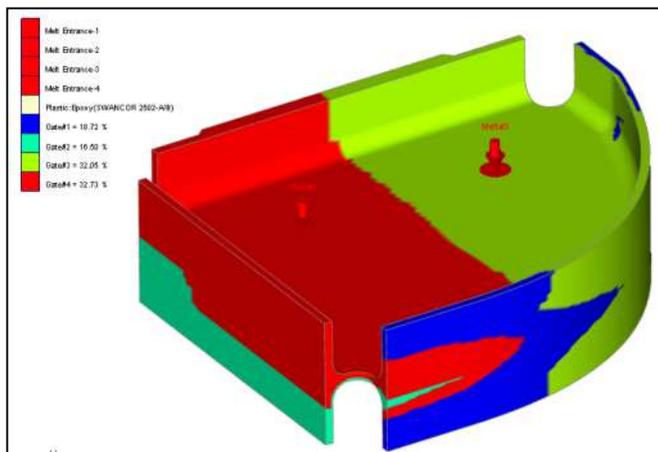
## Caso studio: RIB aeronautica



Gate contribution



Air trap



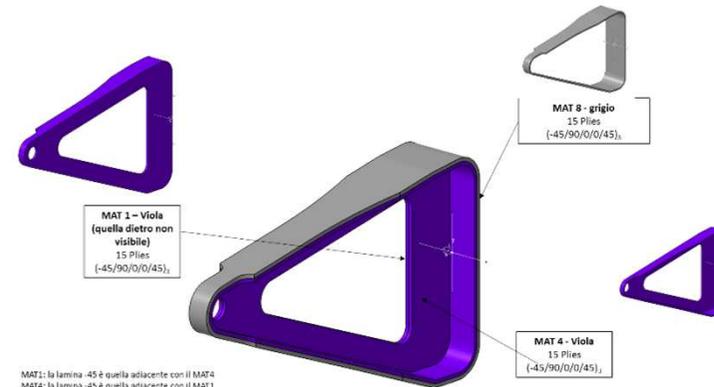
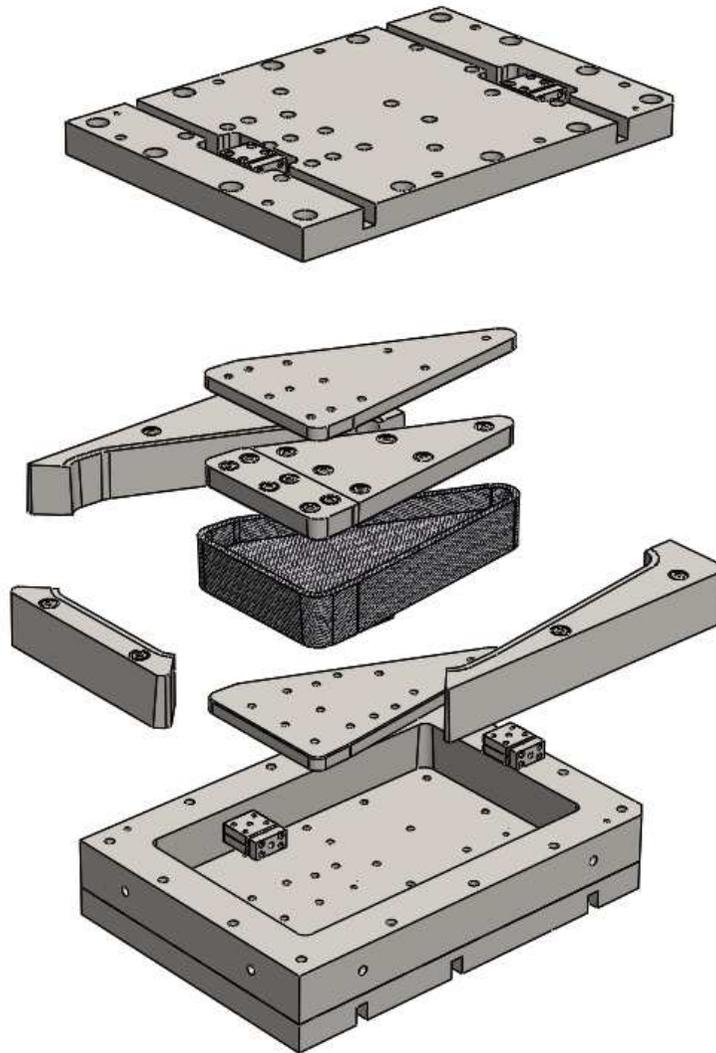
Weld line

Tempo di riempimento Moldex3D = 7,3 min



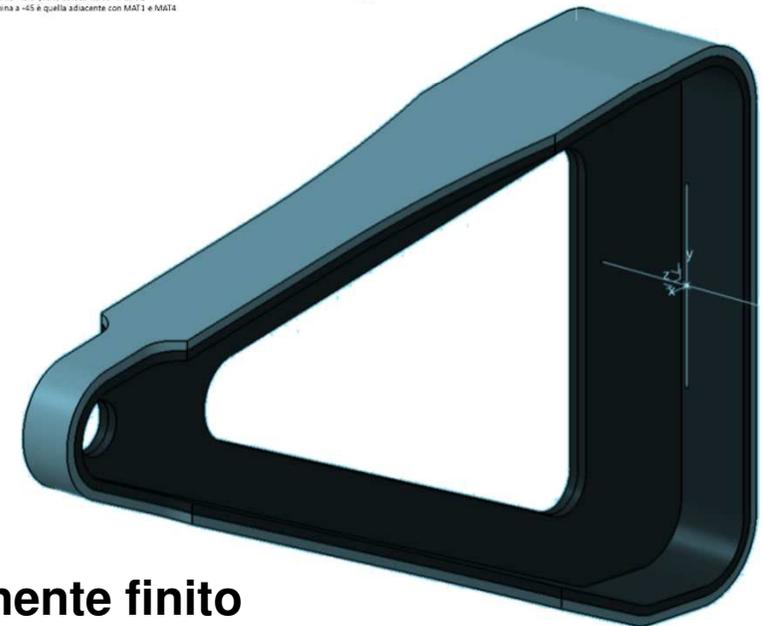
## Caso studio 1

### Fitting



MAT1: la lamina -45 è quella adiacente con il MAT4  
MAT4: la lamina -45 è quella adiacente con il MAT1  
MAT8: la lamina a -45 è quella adiacente con MAT1 e MAT4

### Moldex3D



### Componente finito

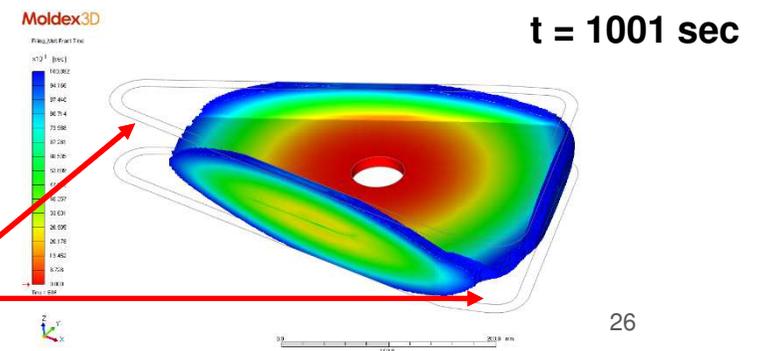
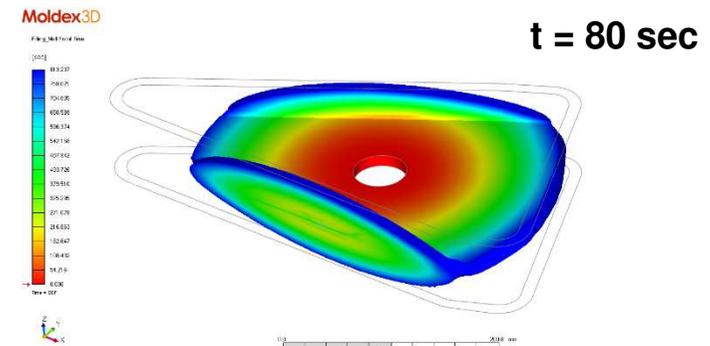
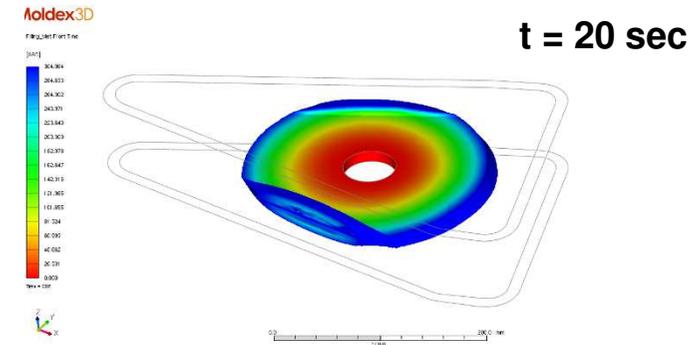
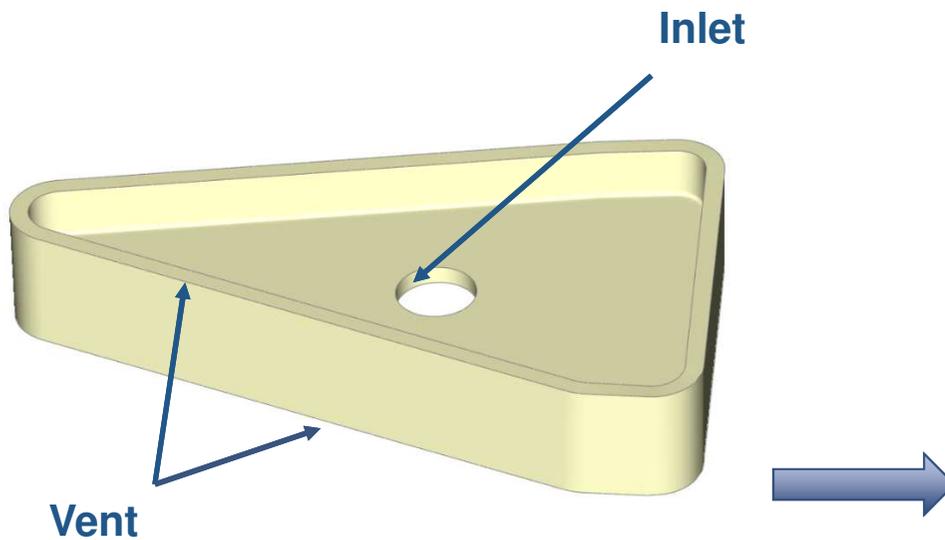
Resina: RTM6-2

Tessuto: G0926

## Caso studio 1

### Fitting

Configurazione preliminare



**Parametri di processo:**

Temperatura di iniezione della resina = 80°C

Temperatura stampo = 120°C

Pressione di iniezione = 1 bar

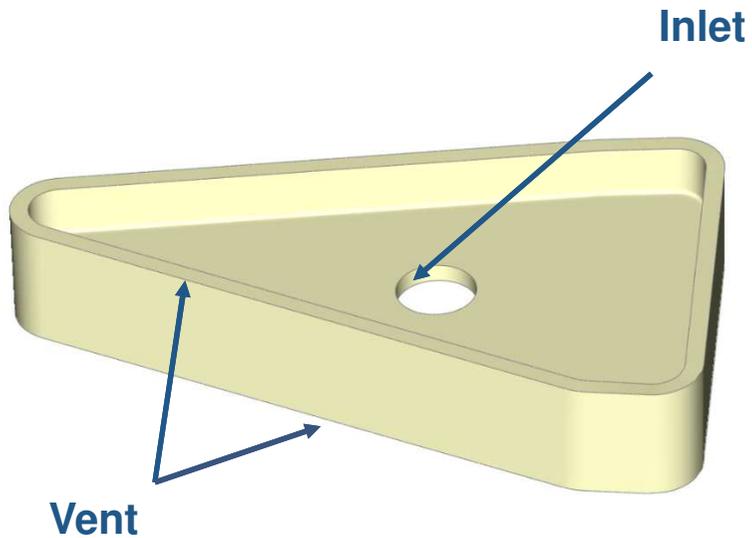
Porosità = 0,43

**Riempimento  
incompleto**

# Caso studio 1

## Fitting

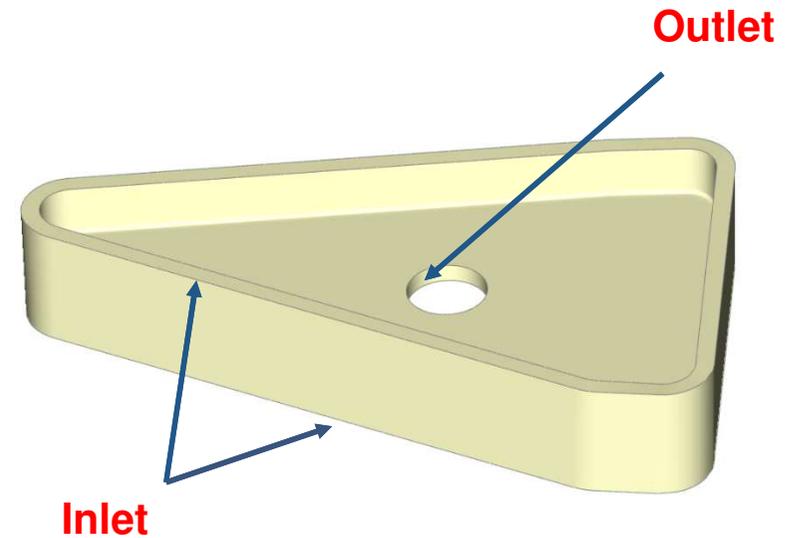
Configurazione 1



**Parametri di processo:**

Temperatura di iniezione della resina = 80°C  
 Temperatura stampo = 120°C  
 Pressione di iniezione = 5 bar  
 Porosità = 0,43

Configurazione 2



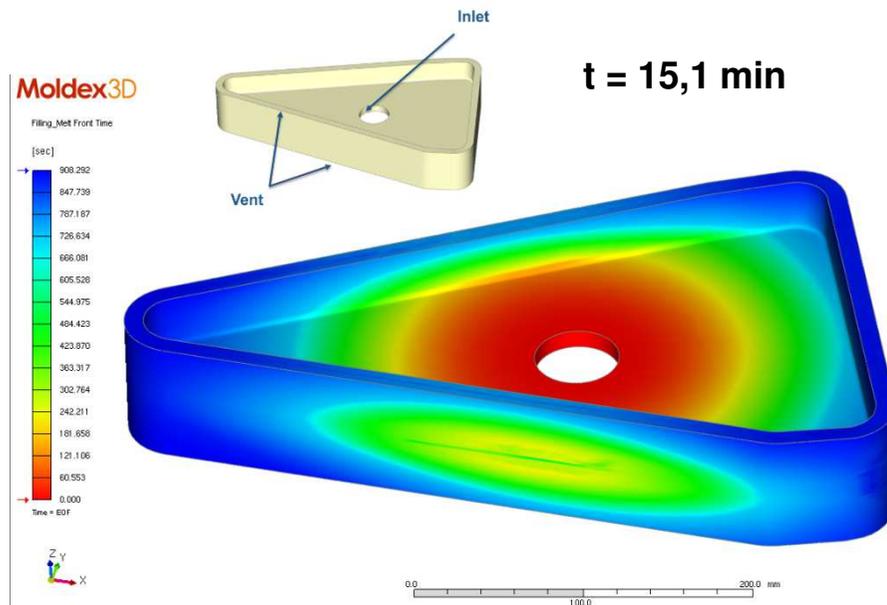
**Parametri di processo:**

Temperatura di iniezione della resina = 80°C  
 Temperatura stampo = 120°C  
 Pressione di iniezione = 1 bar  
 Porosità = 0,43

## Caso studio 1

### Fitting

#### Soluzione 1



#### Parametri di processo:

Temperatura di iniezione della resina = 80°C

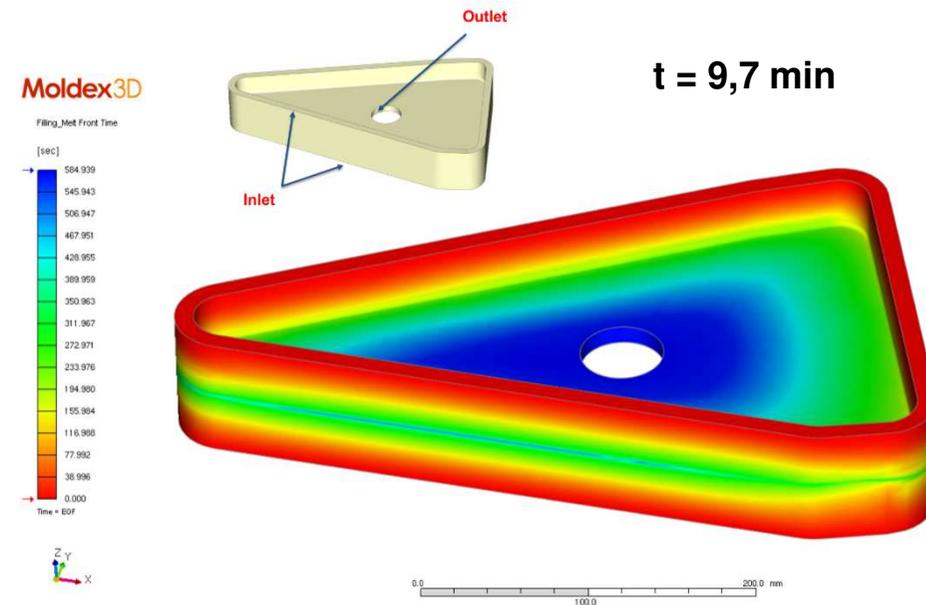
Temperatura stampo = 120°C

Pressione di iniezione = 5 bar

Porosità = 0,43



#### Soluzione 2



#### Parametri di processo:

Temperatura di iniezione della resina = 80°C

Temperatura stampo = 120°C

Pressione di iniezione = 1 bar

Porosità = 0,43

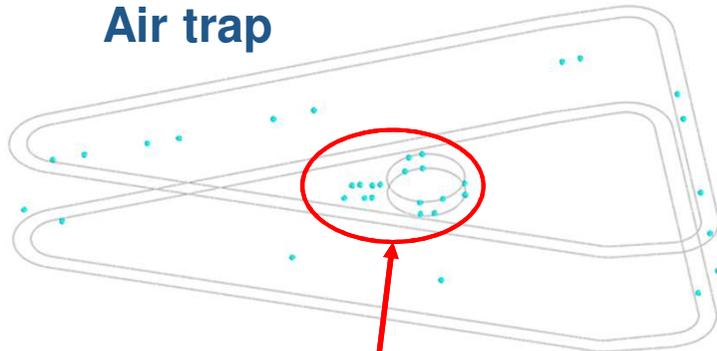
## Caso studio 1

### Fitting

$t_{fillig} - exp = 10 \text{ min}$   
 $t_{fillig} - Molde3D = 9,7 \text{ min}$

Moldex3D  
 Filling\_Air Trap  
 Plastic (Epoxy(Hexcel RTM6\_Rev))  
 Air Trap

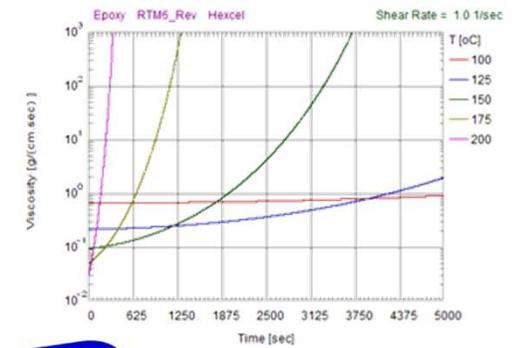
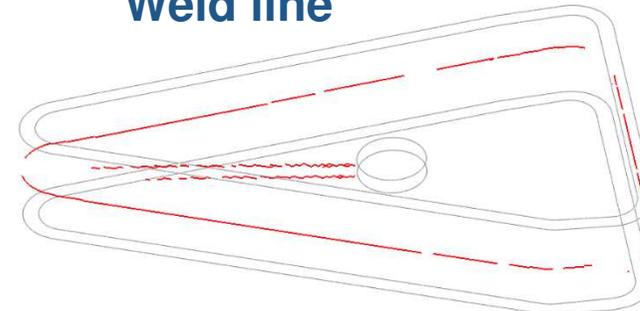
Air trap



Moldex3D

Filling\_Weld Line  
 Plastic (Epoxy(Hexcel RTM6\_Rev))  
 Welding Line

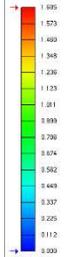
Weld line



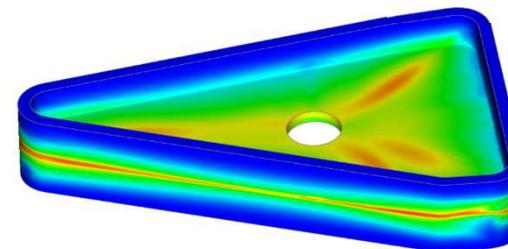
Moldex3D

Filling\_Conversion

x 10<sup>-1</sup> [%]

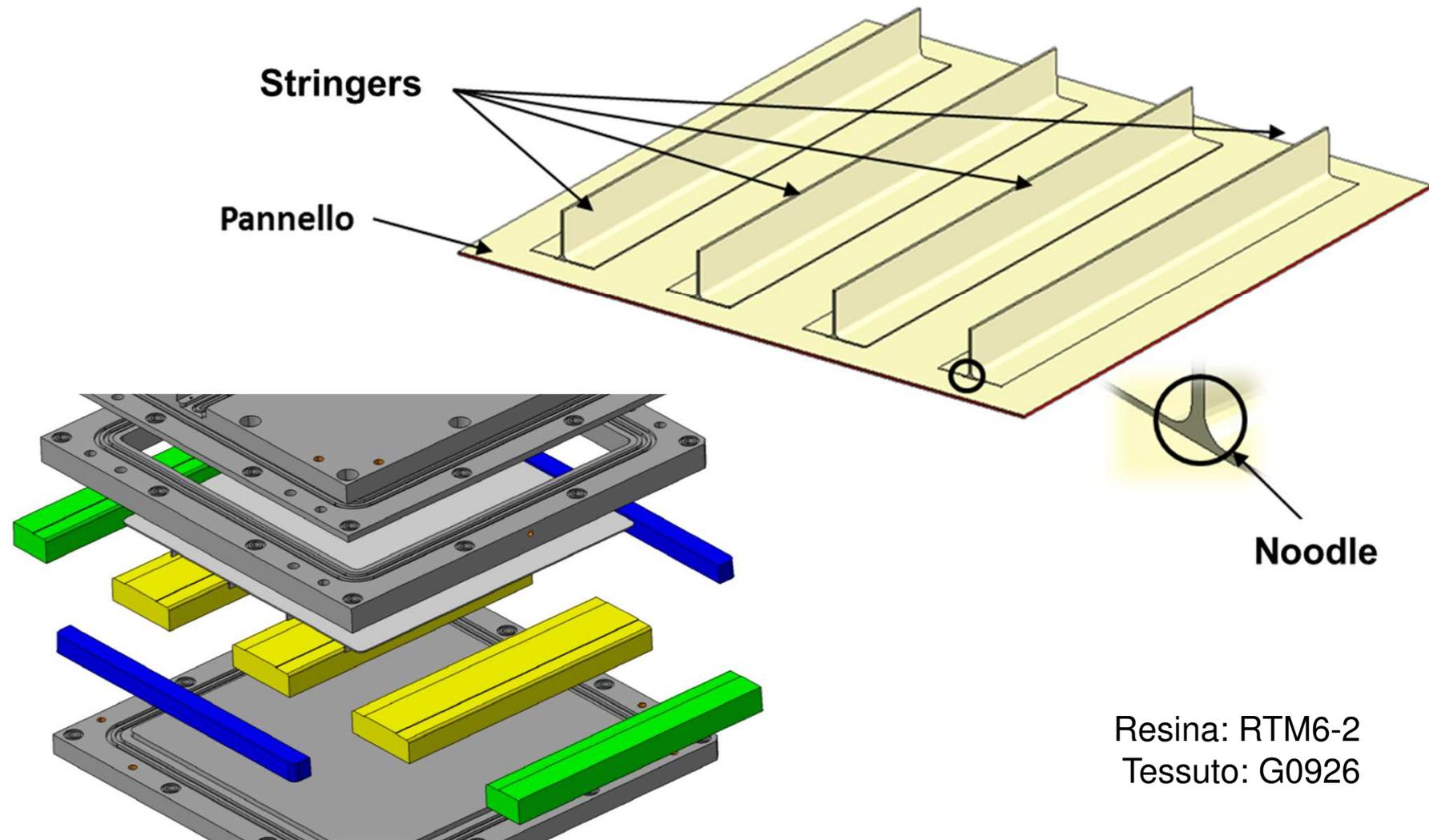


Conversion = 0,16%



# Caso studio 2

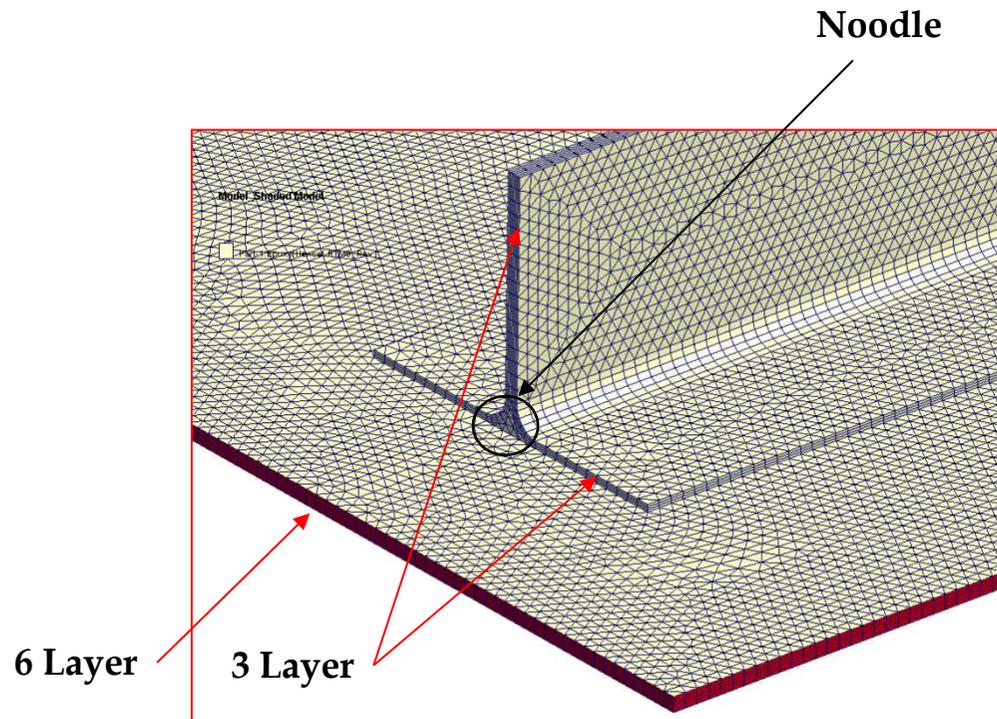
## Pannello con stringers



Resina: RTM6-2  
Tessuto: G0926

# Caso studio 2

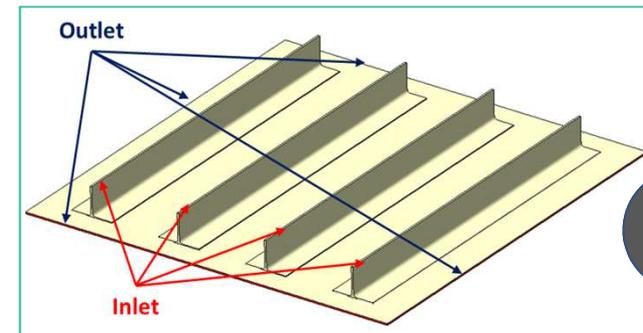
## Pannello con stringers



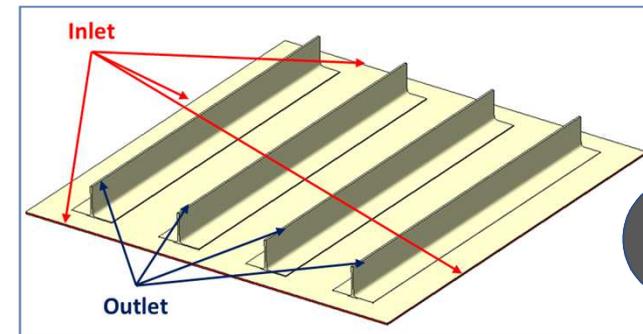
Porosità tessuto = 45%  
 Porosità raccordo = 70%

In plane permeability  $K_{11}=K_{22}= 2e-7 \text{ cm}^2$   
 Out of plane permeability  $K_{33}=2e-8 \text{ cm}^2$   
 Permeabilità noodle  $K_{11}=K_{22}= K_{33}= 2e-6 \text{ cm}^2$

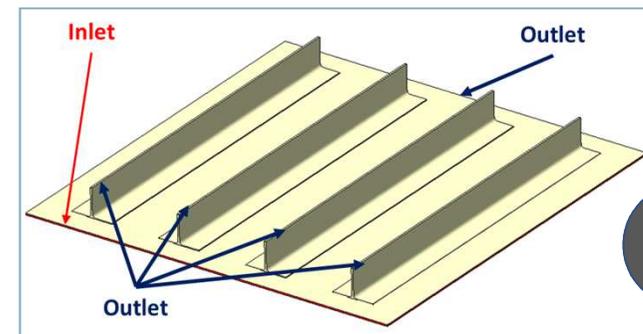
### Configurazioni analizzate



1



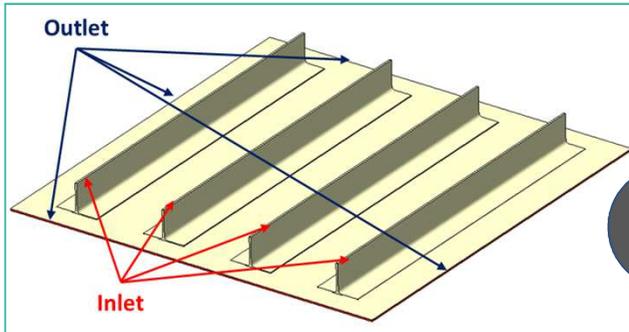
2



3

## Caso studio 2

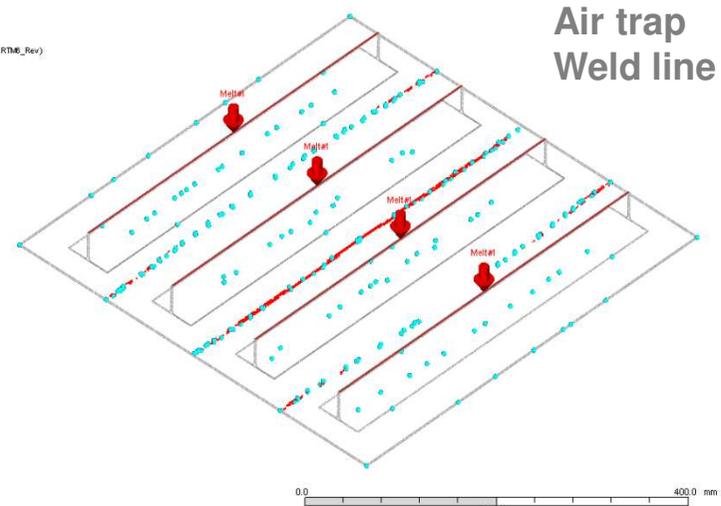
### Pannello con stringers



Moldex3D

Filling\_Weld Line

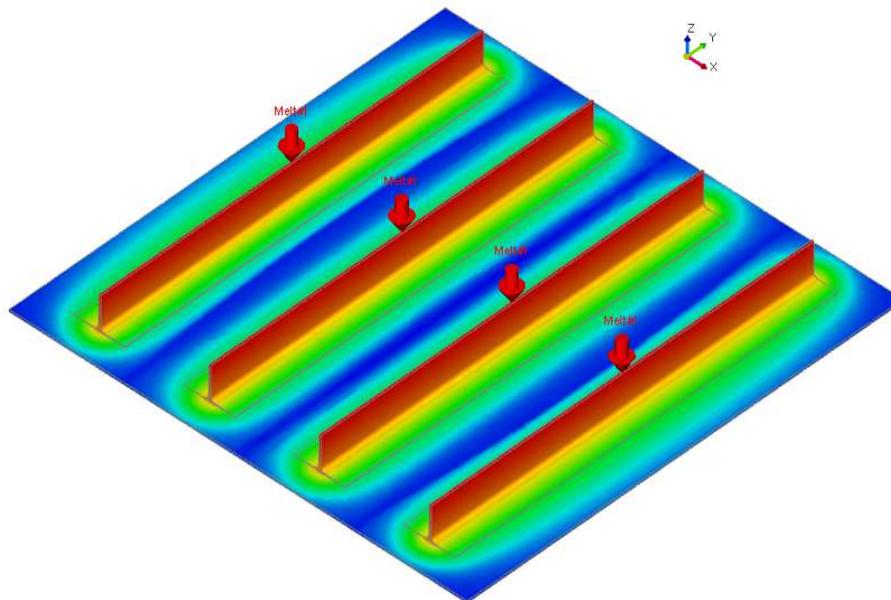
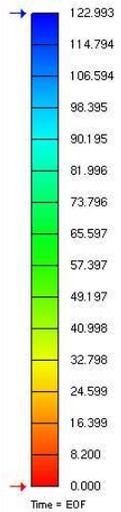
- Melt Entrance
- Plastic: Epoxy(Hexcel RTM6\_Rev)
- Air Trap
- Welding Line



Moldex3D

Filling\_Melt Front Time

[sec]



$T_{resina} = 60^{\circ}\text{C}$  (RTM6)

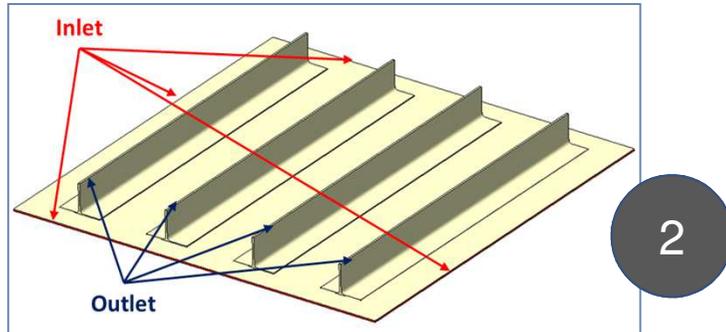
$T_{stampo} = 120^{\circ}\text{C}$

$P_{iniezione} = 0,1\text{ MPa}$

$t_{fillig} - \text{Molde3D} = 123\text{ sec}$

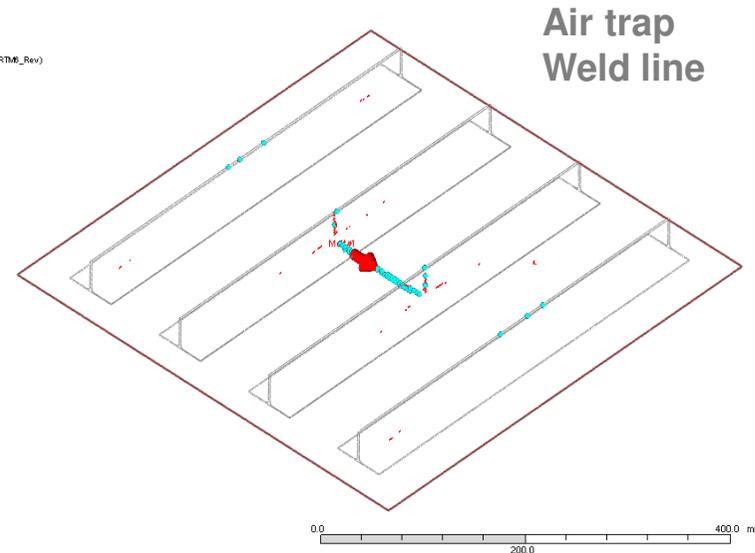
## Caso studio 2

### Pannello con stringers



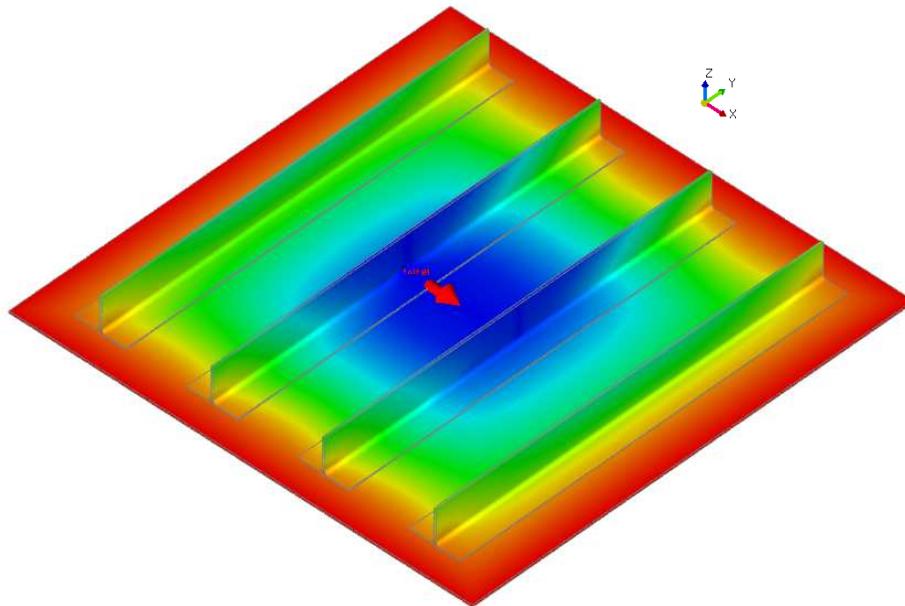
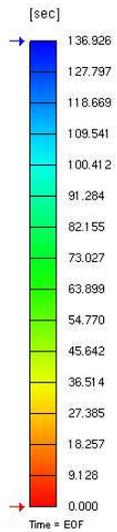
Moldex3D

- Filling\_Void Line
- Melt Entrance
  - Plastic: Epoxy(Hexcel RTM6\_Rev)
  - Air Trap
  - Welding Line



Moldex3D

Filling\_Melt Front Time



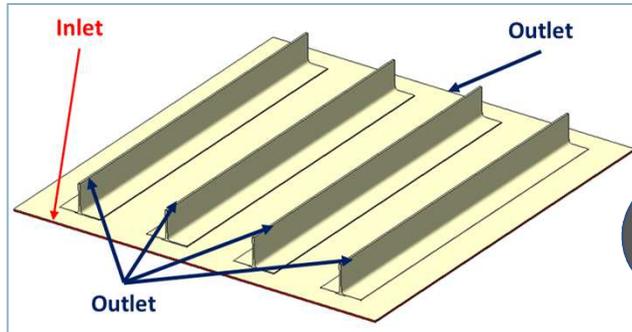
$T_{resina} = 60^{\circ}C$  (RTM6)  
 $T_{stampo} = 120^{\circ}C$   
 $P_{iniezione} = 0,1 MPa$



**$t_{fillig} - Molde3D = 134 sec$**

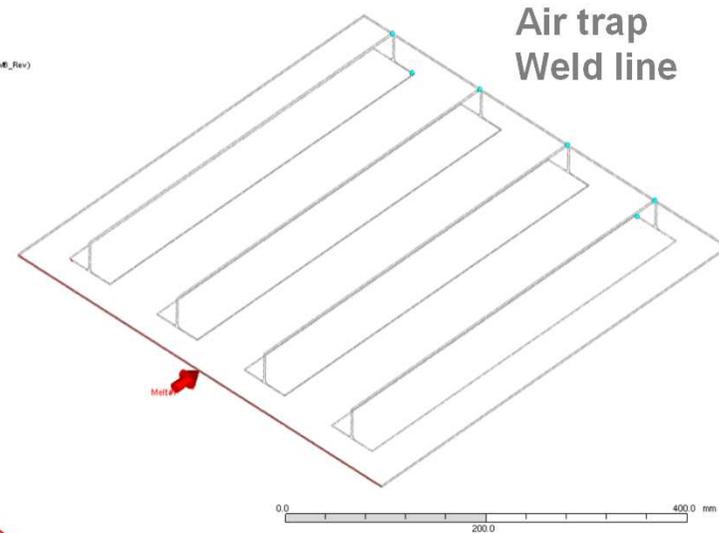
## Caso studio 2

### Pannello con stringers



Moldex3D

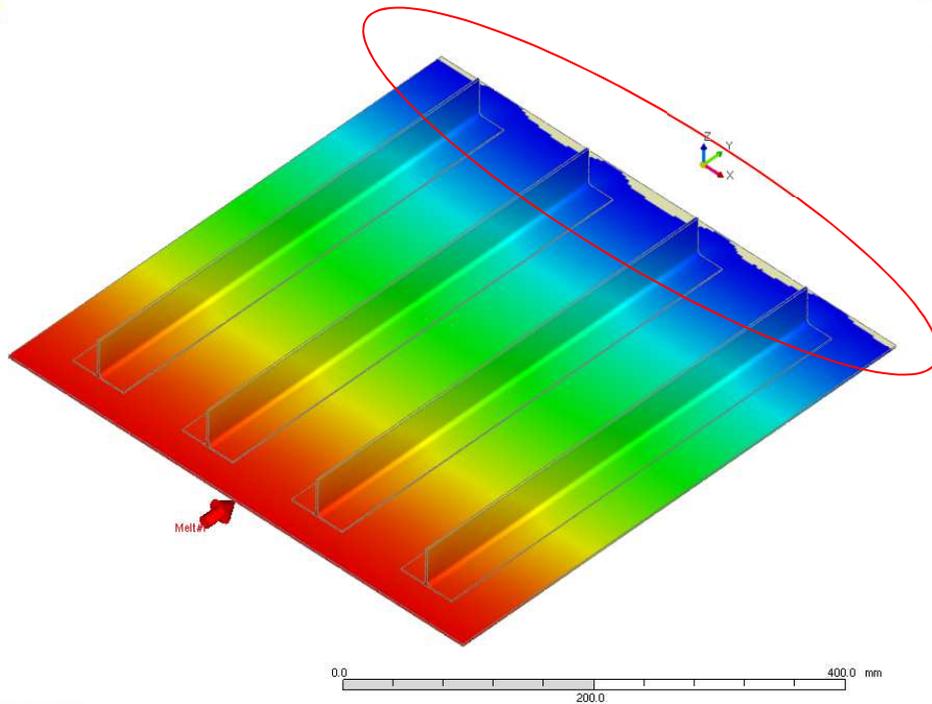
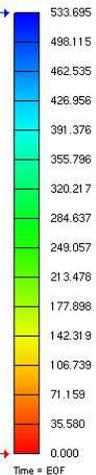
Filling\_Veld Line  
 Melt Entrance  
 Plastic (Epoxy/Hexcel RTM6\_Rev)  
 Air Trap  
 Welding Line



Moldex3D

Filling\_Melt Front Time

[sec]

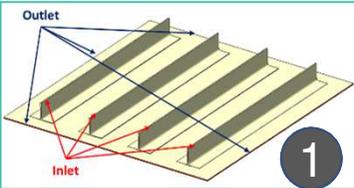
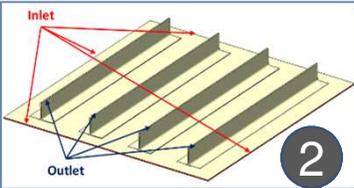
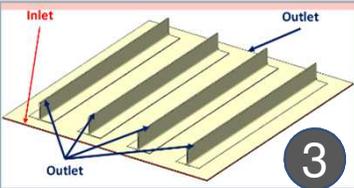


$T_{resina} = 60^{\circ}\text{C}$  (RTM6)  
 $T_{stampa} = 120^{\circ}\text{C}$   
 $P_{iniezione} = 0,1\text{ MPa}$

$t_{fillig} - \text{Molde3D} = 537\text{ sec}$

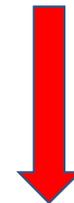
# Caso studio 2

## Pannello con stringers

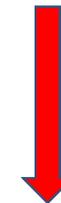
			
$t_{\text{filling}}$	123 sec	134 sec	537 sec
Filling	SI	SI	NO
Air trap	SI	SI	NO
Weld line	SI	NO	NO



- Minor tempo di riempimento
- Maggior quantità di difetti



- Tempo di riempimento intermedio
- Possibili intrappolamenti d'aria

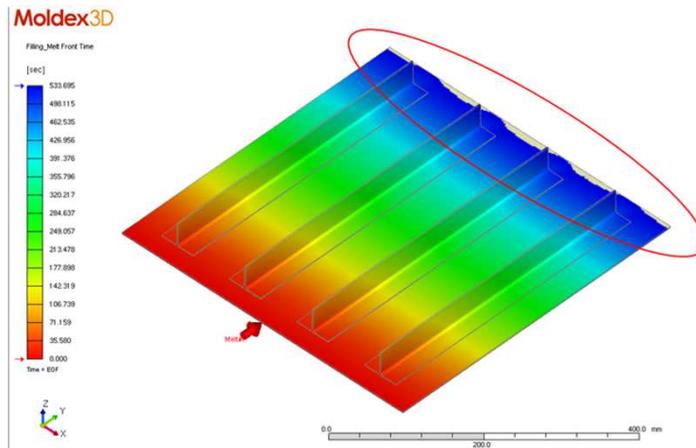


- Riempimento incompleto
- No difetti

# Caso studio 2

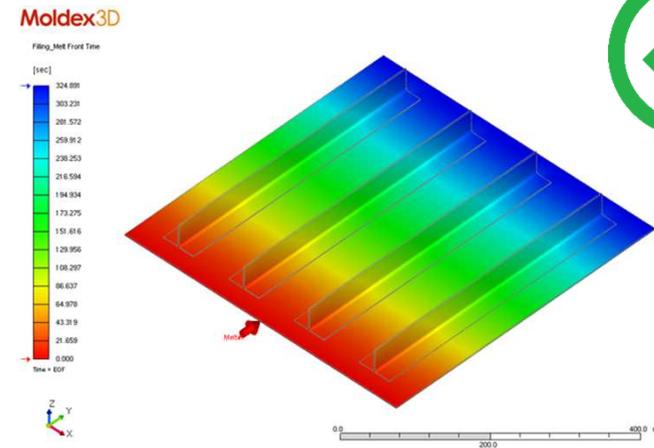
## Pannello con stringers

### Soluzione 3



$t_{fillig} - Molde3D = 537 \text{ sec}$

### Soluzione 3 ottimizzata



$t_{fillig} - Molde3D = 325 \text{ sec}$

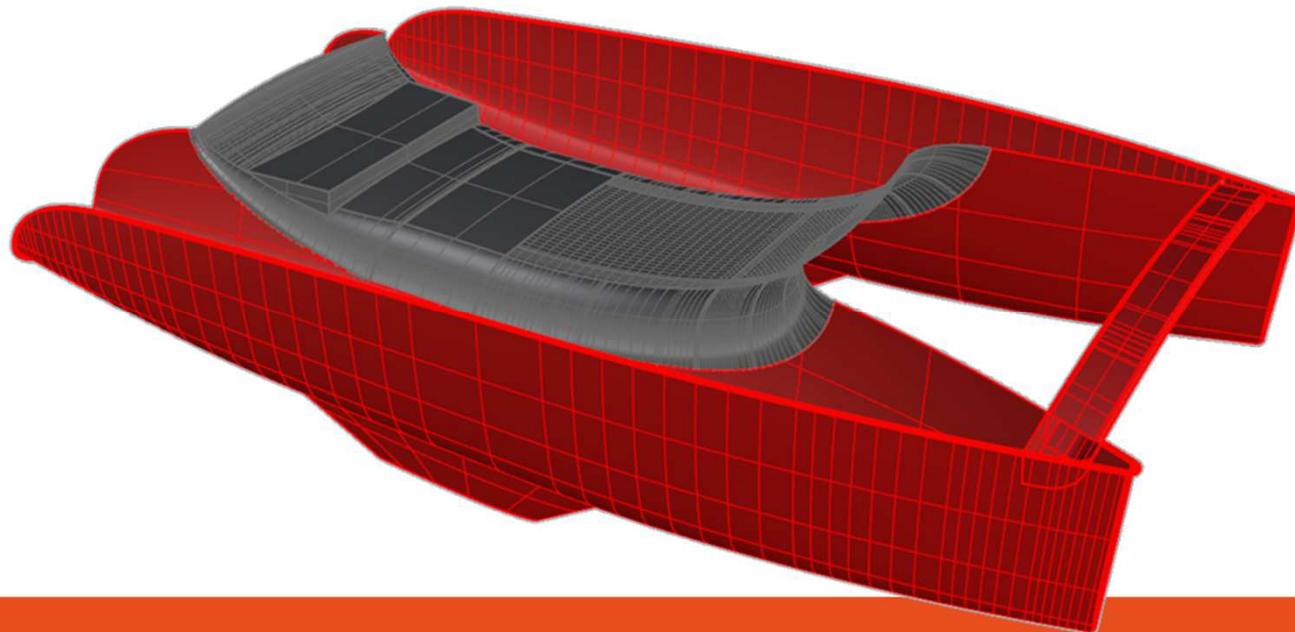
#### Parametri di processo:

Temperatura di iniezione della resina = 60°C  
 Temperatura stampo = 120°C  
 Pressione di iniezione = 1 bar

#### Parametri di processo:

Temperatura di iniezione della resina = 60°C  
 Temperatura stampo = 120°C  
**Pressione di iniezione = 2 bar**

**Cloudification of Production Engineering for Predictive Digital Manufacturing**  
**Cloud-based modelling for improving resin infusion process**



IT4Innovations  
national <sup>015#80</sup>  
supercomputing  
center <sup>0#01%101</sup>

**catmarine**  
PASSENGERS

**SKA** Polska

 **Stam**

The project **CloudiFacturing** receives funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (Grant No. 768892).



# Conclusioni

- Il processo RTM per la realizzazione di componenti in materiale composito ad alte prestazioni presenta numerose criticità
- La messa a punto del processo RTM non può prescindere dalla conoscenza accurata dei materiali da utilizzare (resina, rinforzi, mezzi di distribuzione) e del processo.
- L'elevato numero di variabili in gioco e le loro interazioni tuttavia rendono indispensabile l'utilizzo di strumenti numerici per l'ottimizzazione del processo RTM.
- Il software Moldex3D si è dimostrato uno strumento utile per individuare tempestivamente le problematiche che si potrebbero riscontrare in fase di produzione e per l'ottimizzazione del processo al fine di minimizzare il costo di produzione e il tempo di realizzazione del prodotto.



# Thank You

**Ing. Michele Rizzo**

Modelling & Simulation Area  
Advanced Materials & Processes Consulting Dep.



**Phone&Fax**

Direct Line: +39 (0)831 449.401  
fax: +39 (0)831 449.120

e-mail: [michele.rizzo@cetma.it](mailto:michele.rizzo@cetma.it)

[www.cetma.it](http://www.cetma.it)

## Moldex3D

[www.moldex3d.com](http://www.moldex3d.com)

Copyright © 2018 Moldex3D. All rights reserved.