TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Progetto TPComplex

Tecnologie Avanzate

ing. Gianpaolo Gagnolato,
Responsabile Ingegneria Industriale e di Produzione, g.gagnolato@tecnavan.it

UNIVERSITÀ DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE
Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA
Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica

Unione europea
REGIONE LAZIO
FESR 2014 2020 POR

PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Tecnologie Avanzate

Unione europea

REGIONE LAZIO

fesr 2014 2020 POR

PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Clienti maggiori

LEONARDO

AVIO

Talgo

BOEING

Kawasaki

elt
ELETTRONICA
mind is the first defence

kopter

MECAER | AVIATION | GROUP

Unione europea

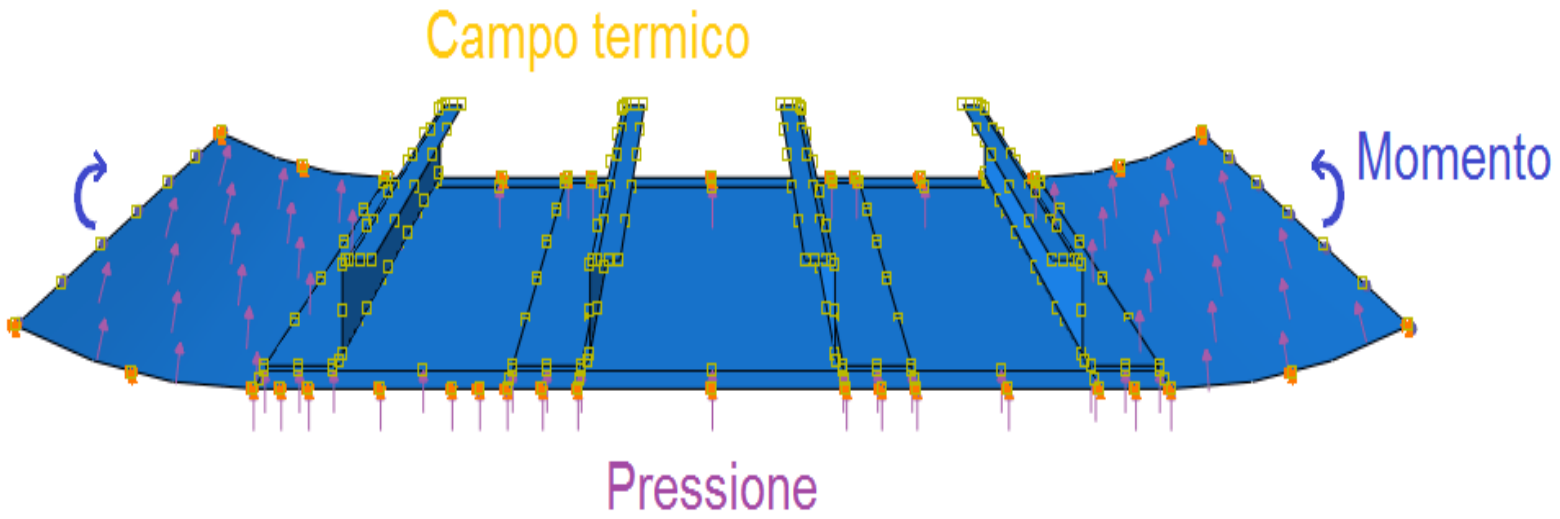
REGIONE LAZIO

fesr
2014 2020 POR

PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

Acronimo e durata Progetto	TPComplex – 24 Mesi
Titolo progetto	Componenti strutturali aerospaziali a geometria complessa in materiale composito termoplastico sottoposti a stress termomeccanici.
Obiettivo del progetto	Sviluppare una soluzione tecnologica per la produzione, senza l'utilizzo di adesivi, di componenti strutturali a geometria complessa in materiale composito a matrice termoplastica per parti aerospaziali (UAV o veicoli suborbitali) sottoposte ad importanti stress termomeccanici

CASE STUDY



MATERIALE COMPOSITO TERMOPLASTICO

	Thermoplastic	Thermoset
Room temperature storage	✓	X
Long-term storage	✓	-
Transport conditions	✓	-
Health and safety friendly	✓	-
Short process time	✓	-
Low Viscosity	X	✓
Low processing Temperature (< 200 ° C)	X	✓
Reformable	✓	X
Recyclable	✓	-

Vantaggi principali:

Stoccaggio a **temperatura ambiente**

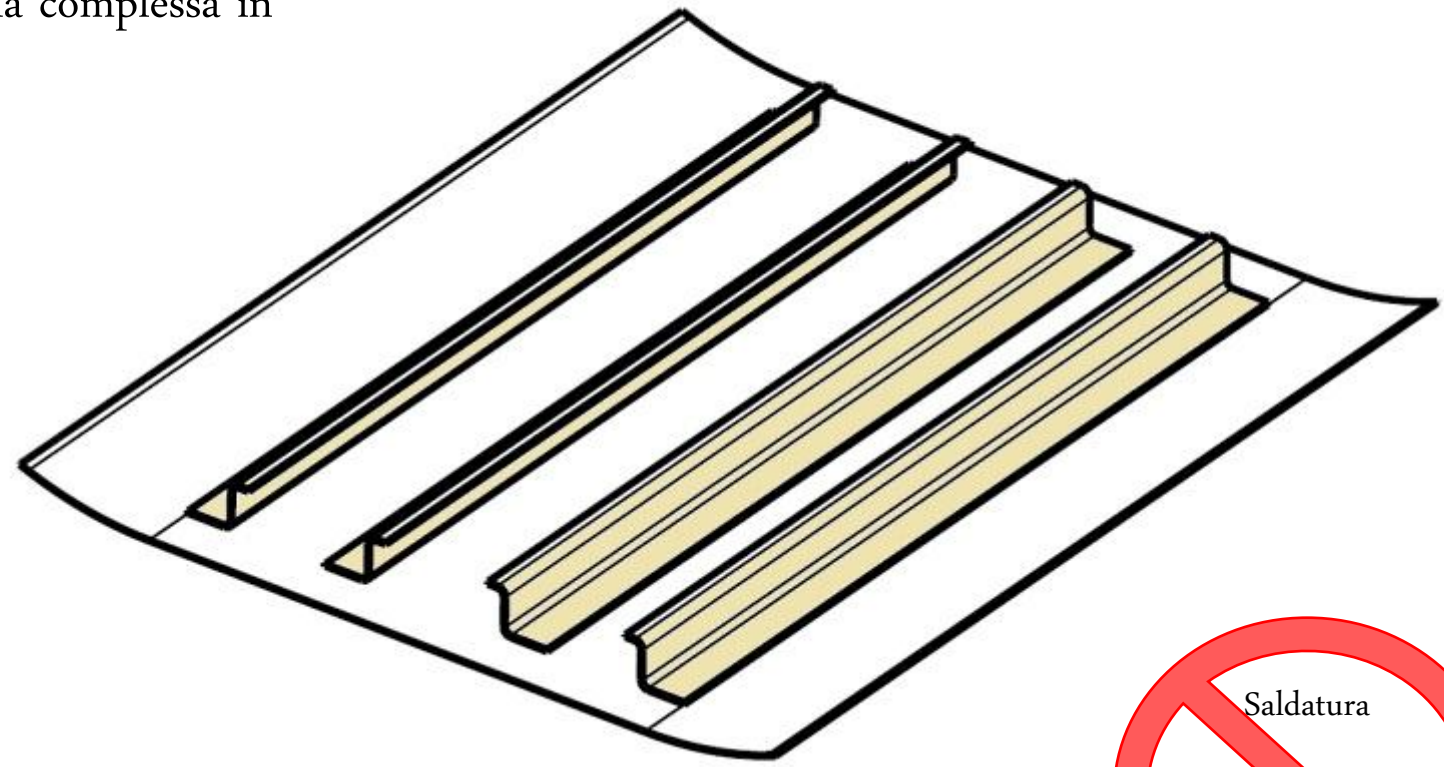
Tempi di formatura **ridotti** dell'**80%**

Materiale **riformabile** e **riciclabile**

Riduzione dei **costi**

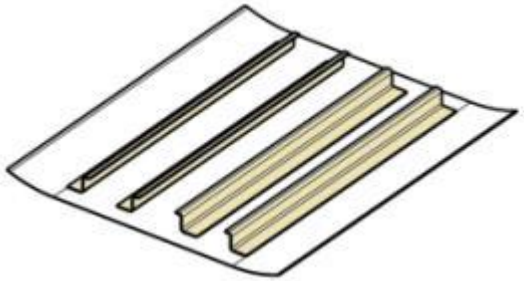
CASO STUDIO

Componente aeronautico a geometria complessa in composito a **matrice termoplastica**



Costituito da:

- Qt. 1 – **Skin**
- Qt. 4 – **Stringers**



STRINGER →

TPWF PEEK-HTA40	+ 45°
TPUD PEEK-HTS45	0°
TPUD PEEK-HTS45	0°
TPUD PEEK-HTS45	0°
TPUD PEEK-HTS45	0°
TPUD PEEK-HTS45	0°
TPWF PEEK-HTA40	- 45°

SKIN →

TPWF PEEK-HTA40	+ 45°
TPWF PEEK-HTA40	0°
TPWF PEEK-HTA40	0°
TPWF PEEK-HTA40	- 45°

TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

OBIETTIVI DEL LAVORO

WP1 Studio mediante **modello FEM** della formatura degli **stringers**

WP2 Studio mediante **modello FEM** del processo termomeccanico dell'**assieme**

WP3 Sviluppo **attrezzature** processi

WP4 Verifica **affidabilità giunzione** termica

WP5 Definizione ciclo di lavorazione e produzione **dimostratore tecnologico**

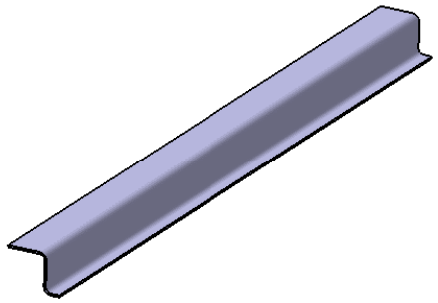
Unione europea
REGIONE LAZIO
POR 2014 2020
PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

WP1 - STUDIO DEL PROCESSO DI FORMATURA DEGLI STRINGER

MACROFASI

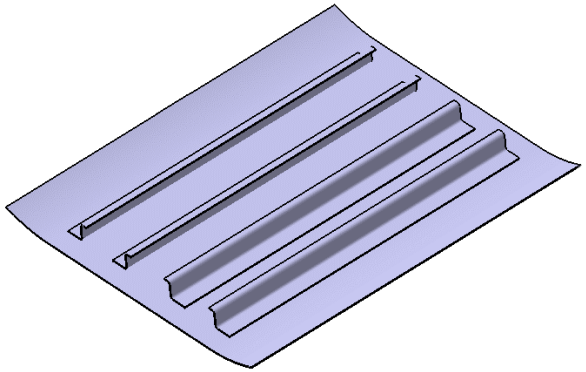
Produzione **Stringer**

Thermoforming



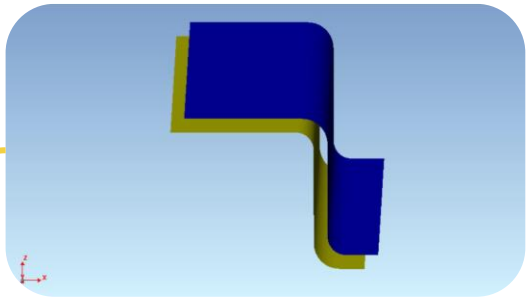
Produzione **Assieme**

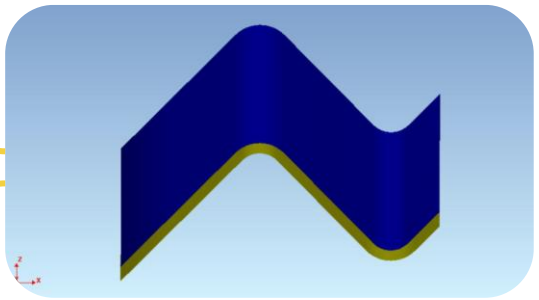
Autoclave Vacuum Bagging



WP1 - STUDIO DEL PROCESSO DI FORMATURA DEGLI STRINGER

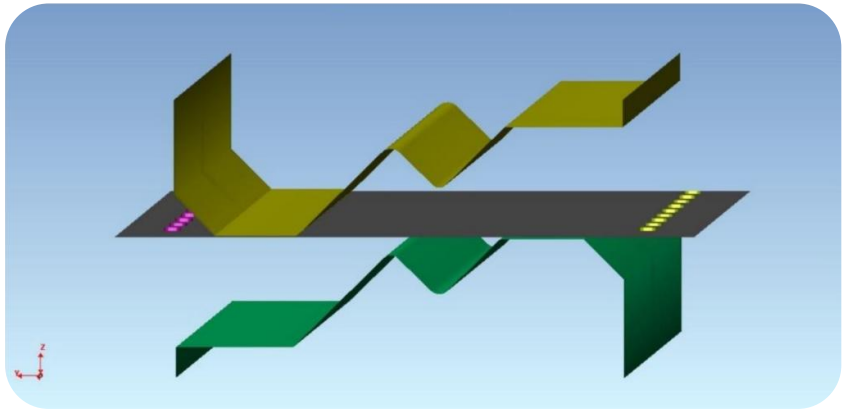
ANALISI NUMERICA





Stampo **ottimale**:

- Rotazione di 45°
- Aumento dimensioni superfici
- Inserimento sistema di tensionamento

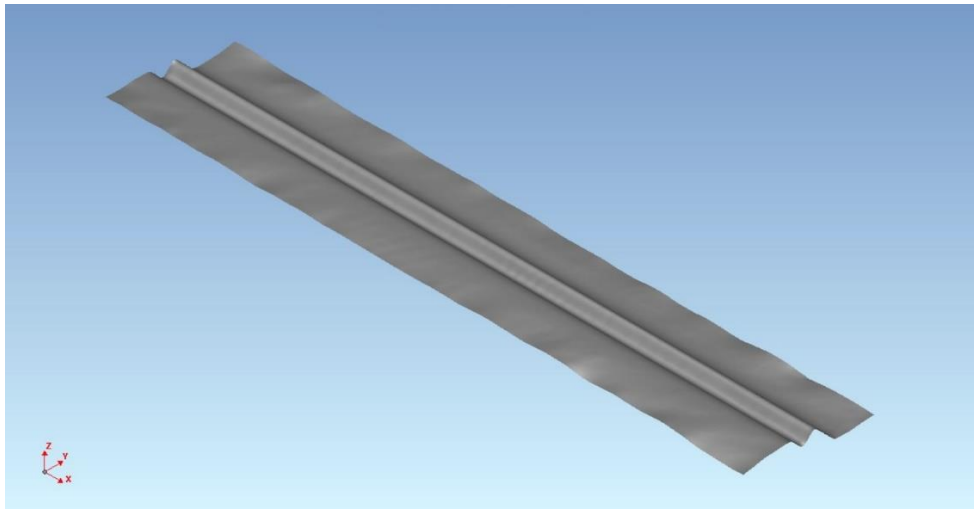


PAM-FORM

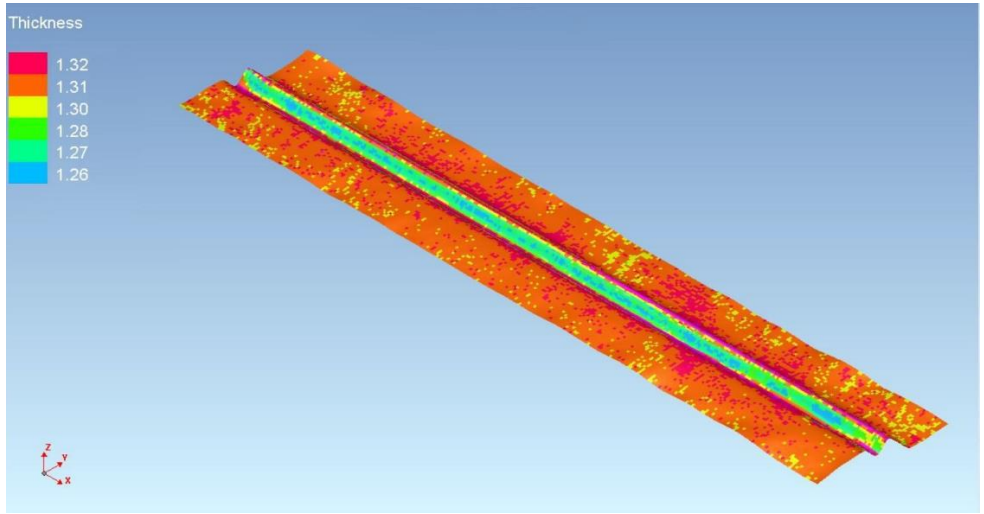
WP1 - STUDIO DEL PROCESSO DI FORMATURA DEGLI STRINGER

ANALISI RISULTATI

- Conformità geometrica



- Distribuzione spessore



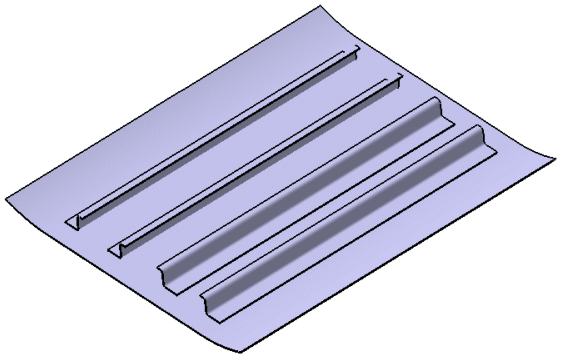
PAM-FORM

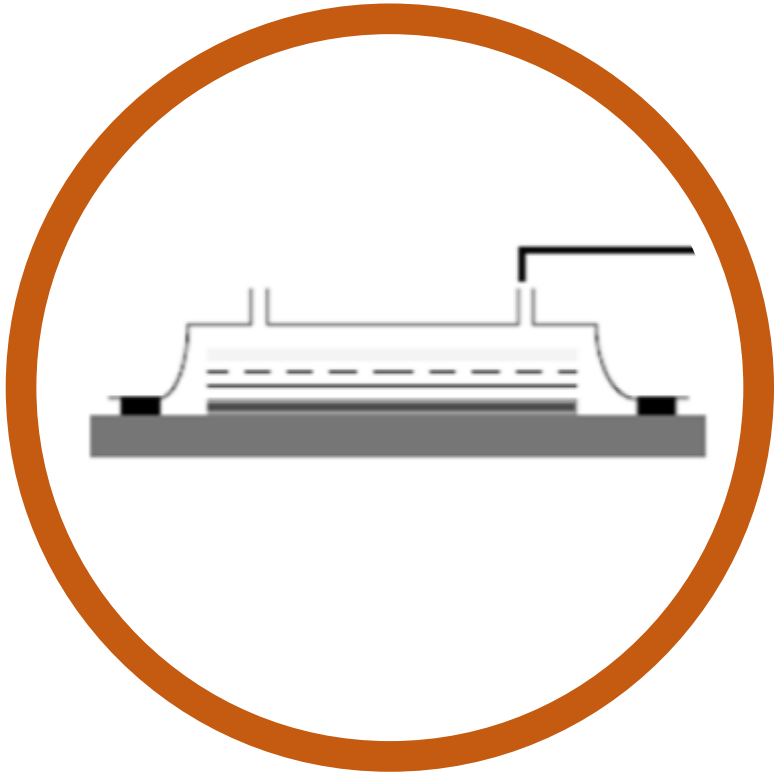
WP2 - STUDIO DEL PROCESSO TERMOMECCANICO DELL'ASSIEME

MACROFASI

Produzione **Assieme**

Autoclave Vacuum Bagging



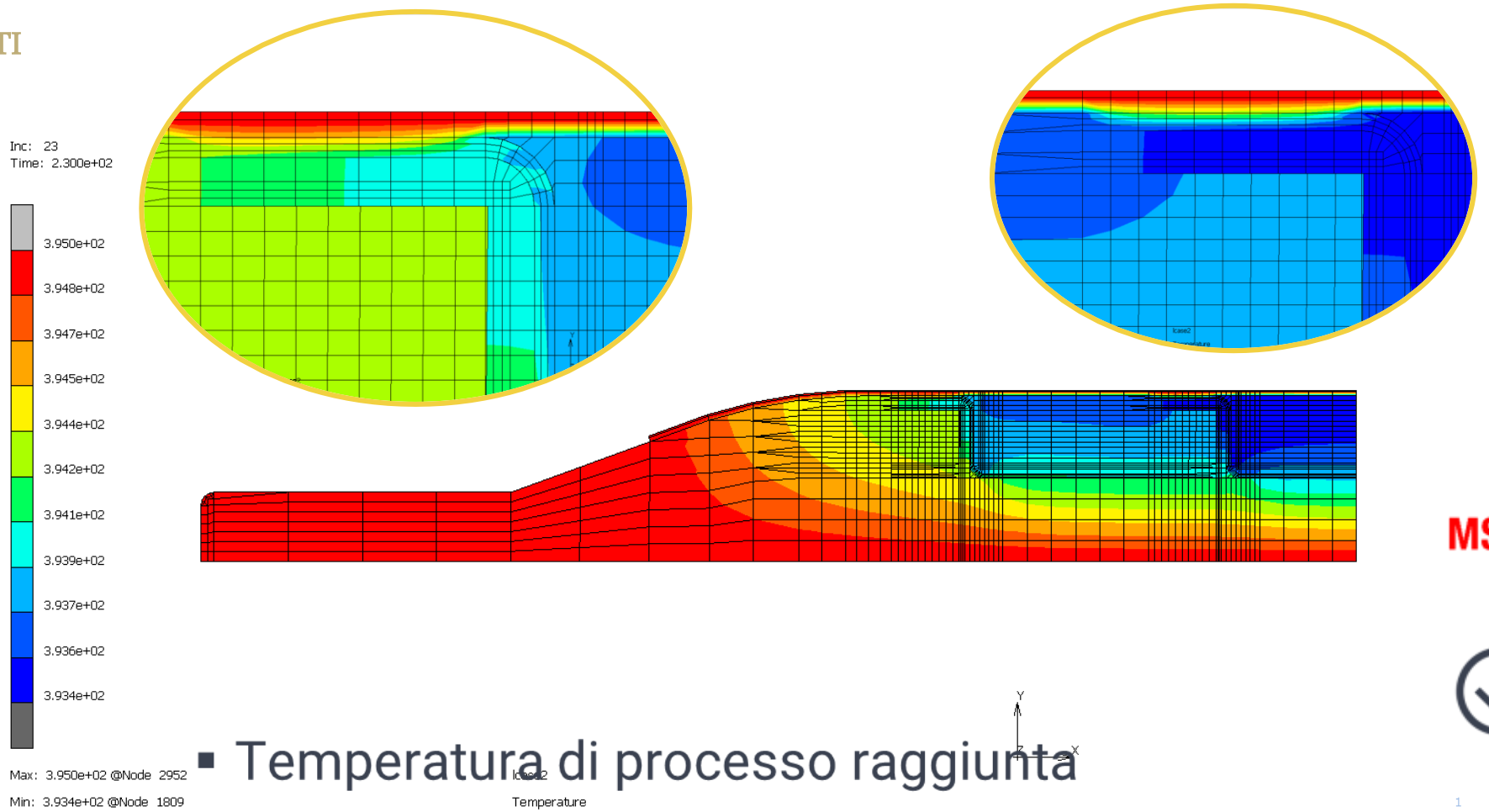


Autoclave

TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

WP2 - STUDIO DEL PROCESSO TERMOMECCANICO DELL'ASSIEME

ANALISI RISULTATI



MSC Marc

- Temperatura di processo raggiunta nelle zone di interesse dopo 10 *min*

Unione europea

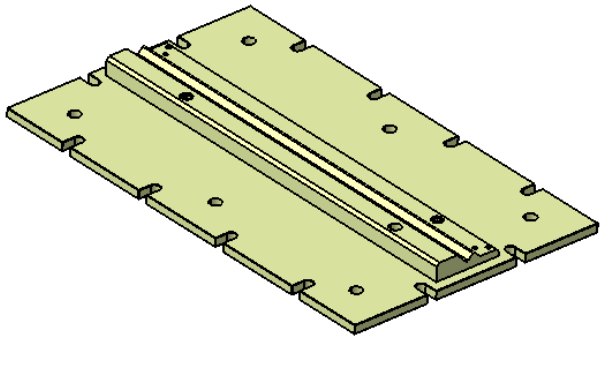
REGIONE LAZIO

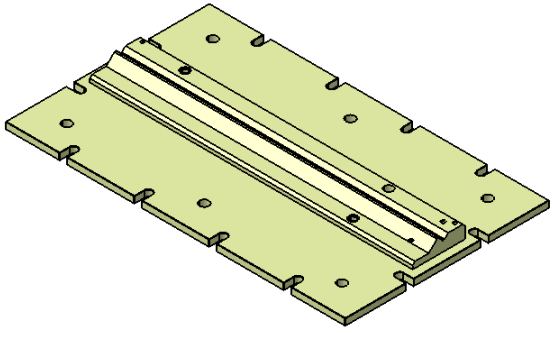
POR 2014 2020

PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

WP3 - SVILUPPO ATTREZZATURE

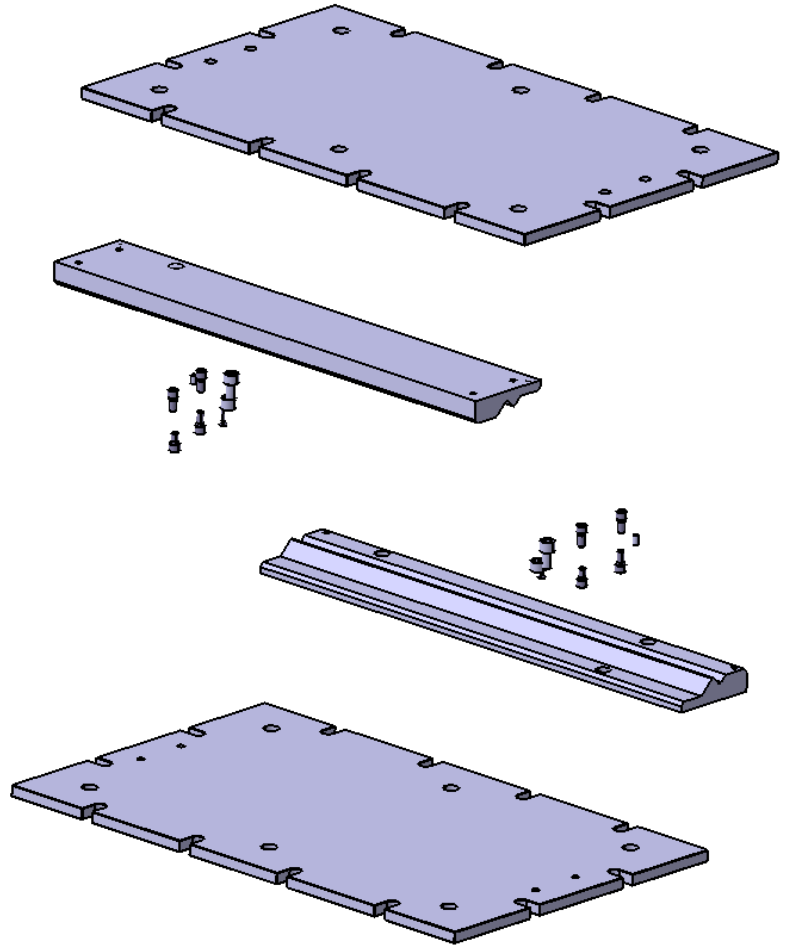
STAMPO STRINGER





Dati valutati:

- Simulazione numerica
- Dimensione stringer
- Dimensioni laminato di partenza
- Dimensione piani pressa
- Presenza sistema di tensionamento



WP3 - SVILUPPO ATTREZZATURE

STAMPO ASSIEME

Dati valutati:

- Temperatura
- CTE

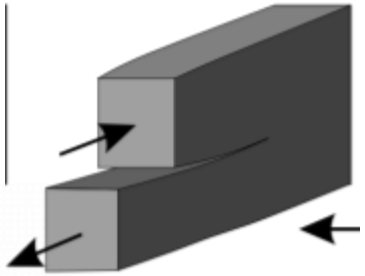
Range (°C)	*Coef. Espansione Termica* ($°C^{-1} \times 10^{-6}$)	*Range (°C)*	*Coef. Espansione Termica* ($°C^{-1} \times 10^{-6}$)
30 ÷ 100	1,18	30 ÷ 400	7,82
30 ÷ 200	1,72	30 ÷ 450	8,82
30 ÷ 300	4,92	30 ÷ 500	9,72
30 ÷ 350	6,60	30 ÷ 600	11,35

WP4 - VERIFICA AFFIDABILITÀ GIUNZIONE

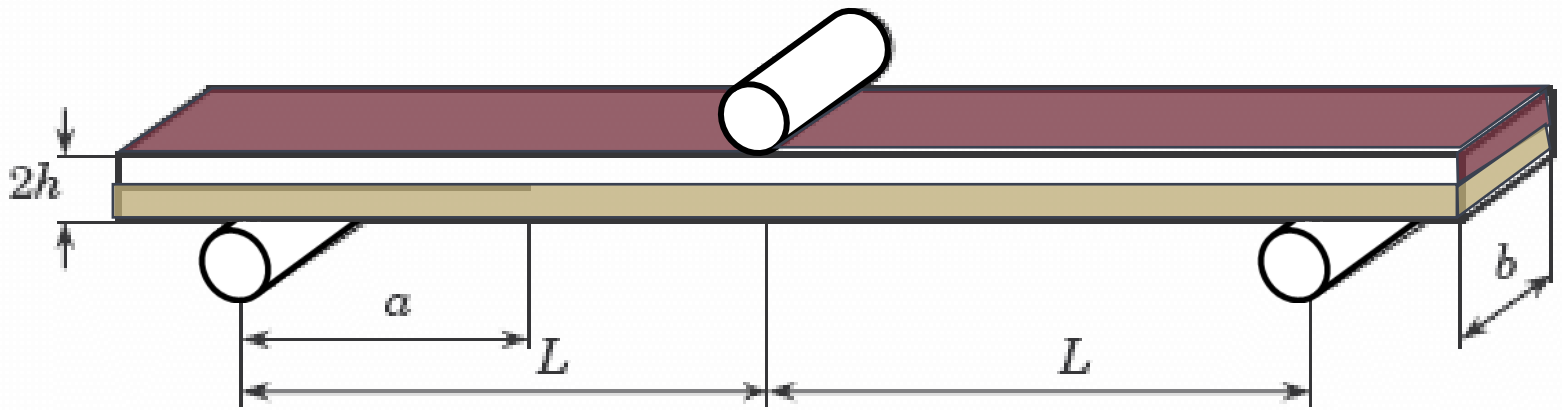
ASTM D7905

ENF – *End Notched Flexure* → G_{IIc}

Tenacità a frattura interlaminare di modo II

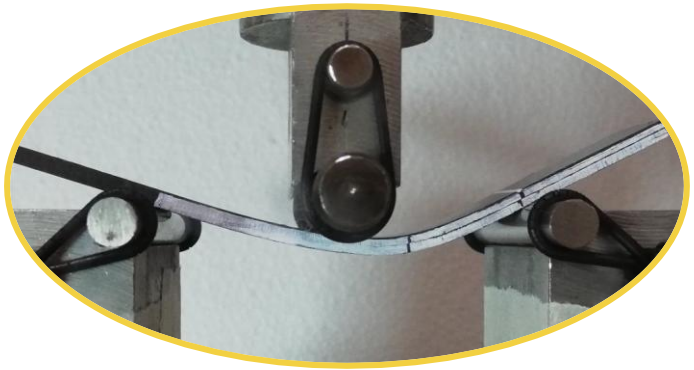


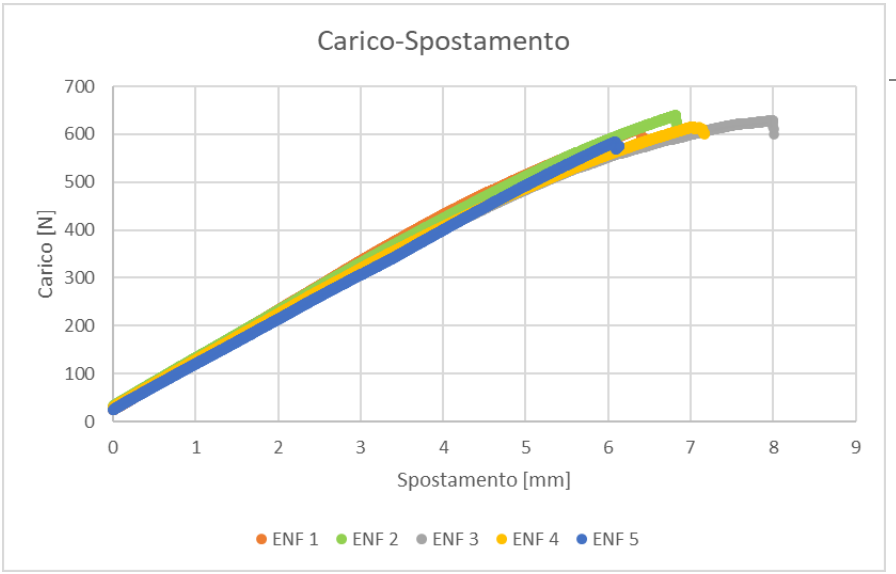
- Stringer
- Skin



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

WP4 - VERIFICA AFFIDABILITÀ GIUNZIONE





Provini	G_{IIc} (N/mm)
ENF 1	1,001
ENF 2	1,120
ENF 3	1,024
ENF 4	1,038
ENF 5	0,992

- Valori coerenti alla letteratura scientifica*

*J. R. Reeder, «An Evaluation of Mixed-Mode Delamination Failure Criteria,» NASA, 1992.

A. Turon, P. P. Camanho, J. Costa e C. G. Davila, *A damage model for the simulation of delamination in advanced composites under variable-mode loading,* 2006.

$$G_{IIc} = \frac{9a^2 F_c \delta_c}{2b(2L^3 + 3a^3)}$$

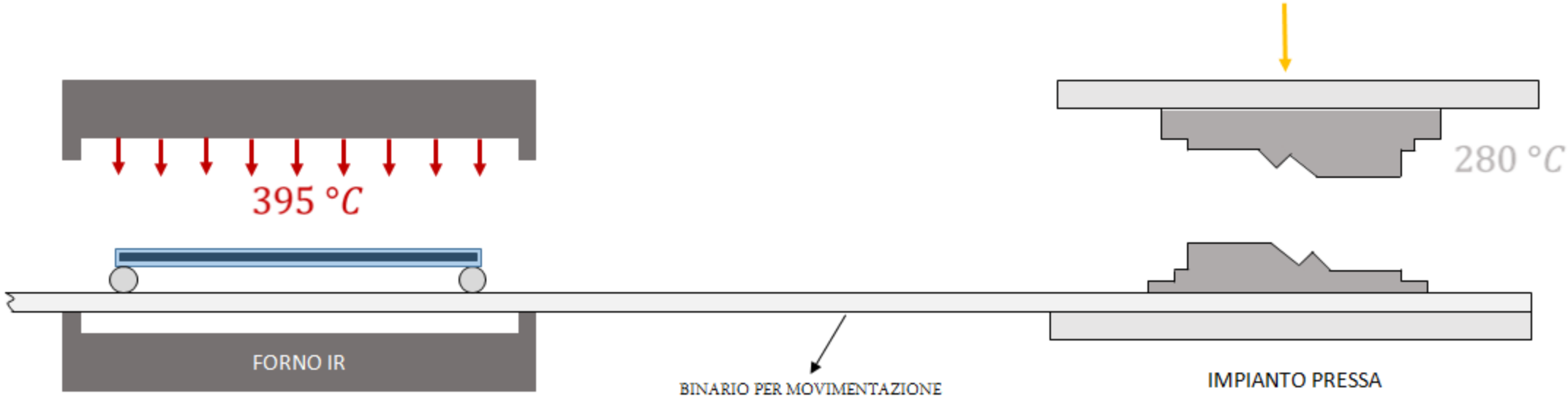
Unione europea

REGIONE LAZIO

PROGETTI STRATEGICI AdS AEROSPAZIO

WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

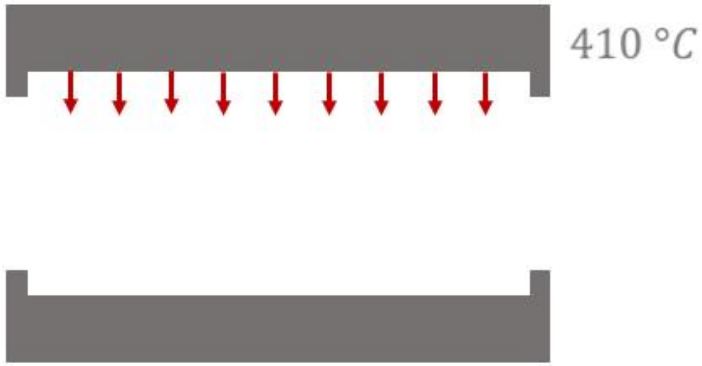
PRODUZIONE STRINGER



WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE STRINGER

Forno infrarossi:

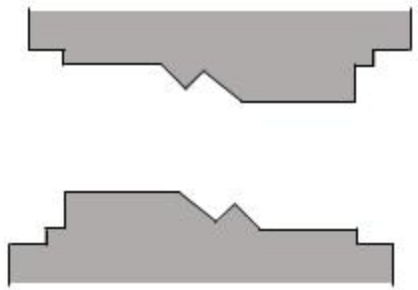


Calore → Onde elettromagnetiche

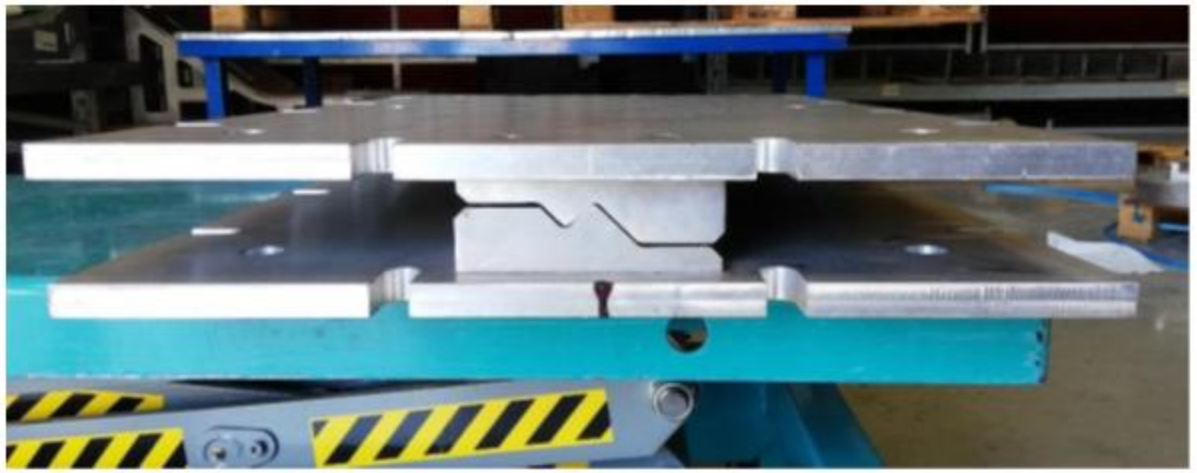
WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE STRINGER

Stampo e controstampo:



280 °C

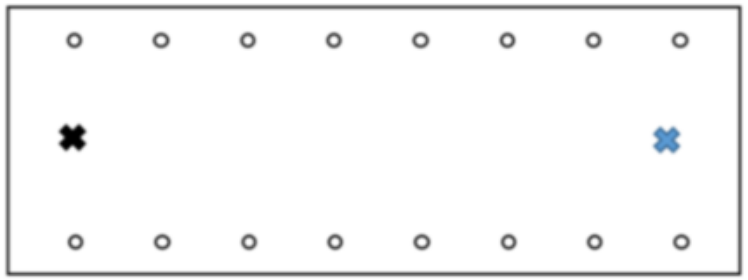


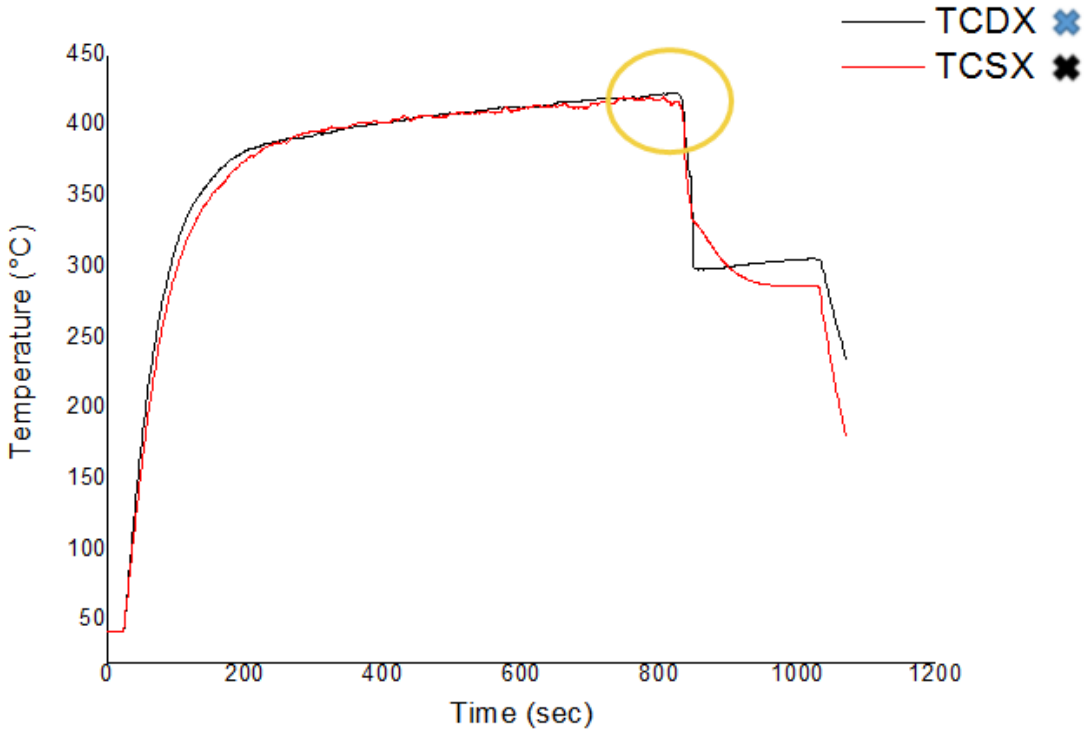
Calore → Conduzione

WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE STRINGER

Termocoppie:





Tempo raggiungimento temperatura di processo: *13 min*

WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE STRINGER

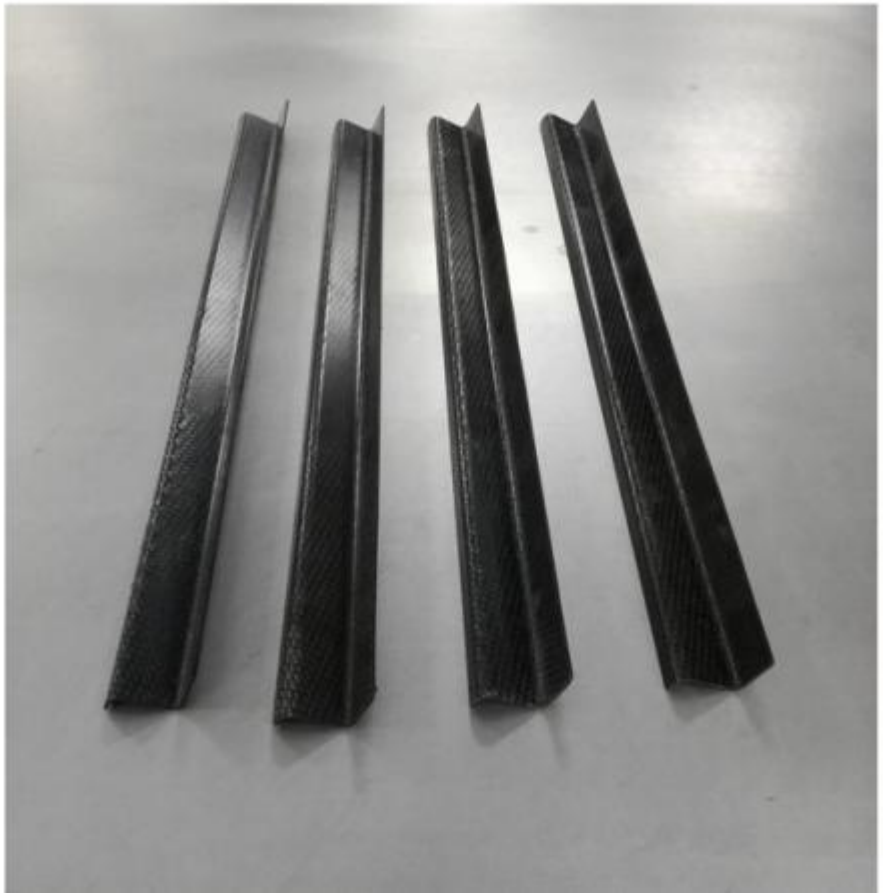
Estrazione grezzo

↓

Trasporto in reparto

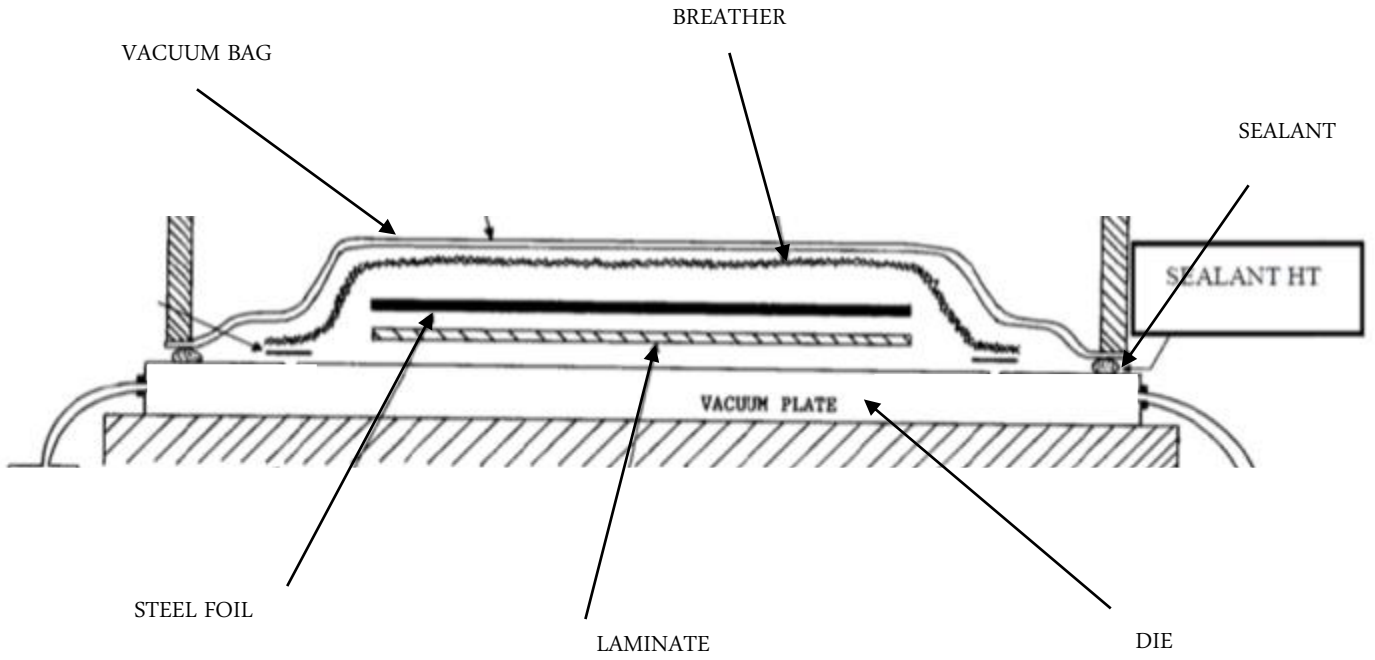
taglio e rifilatura

- Realizzazione stringer



WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE ASSIEME



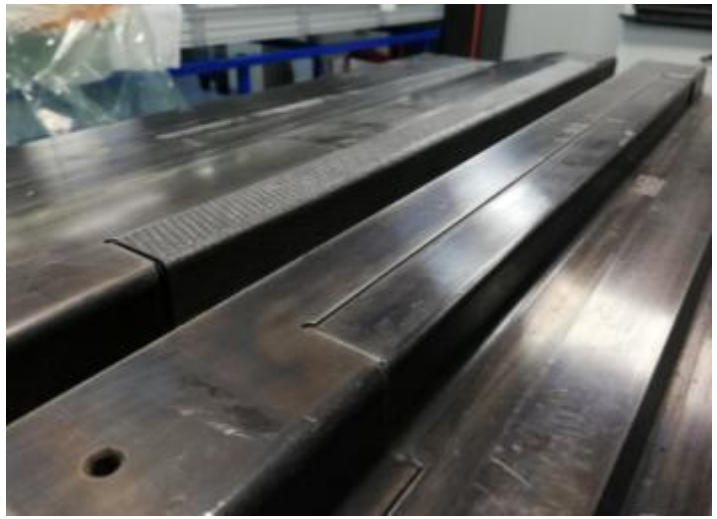
Temperatura Processo: $400\ °C$

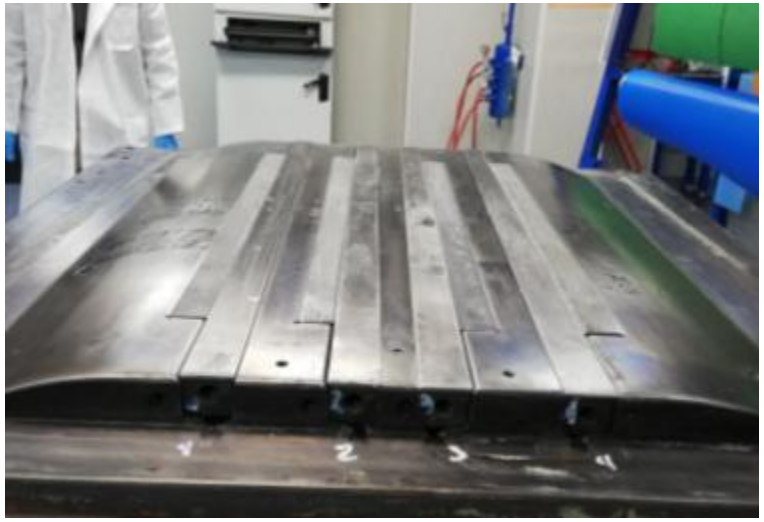
Pressione Processo: $7\ bar$

WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE ASSIEME

Inserimento stringer e tasselli di spinta:

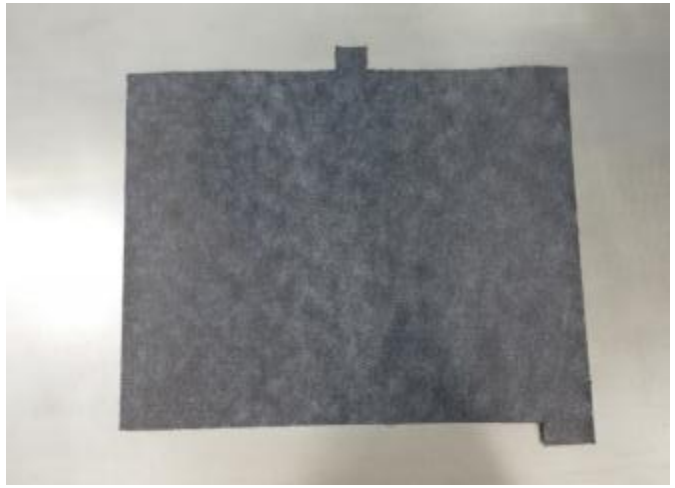


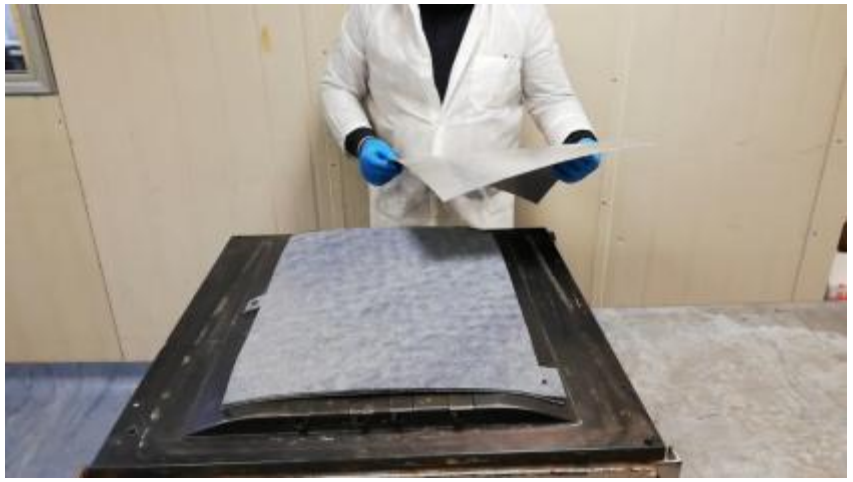


WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE ASSIEME

Taglio e stratificazione dei plies della skin:

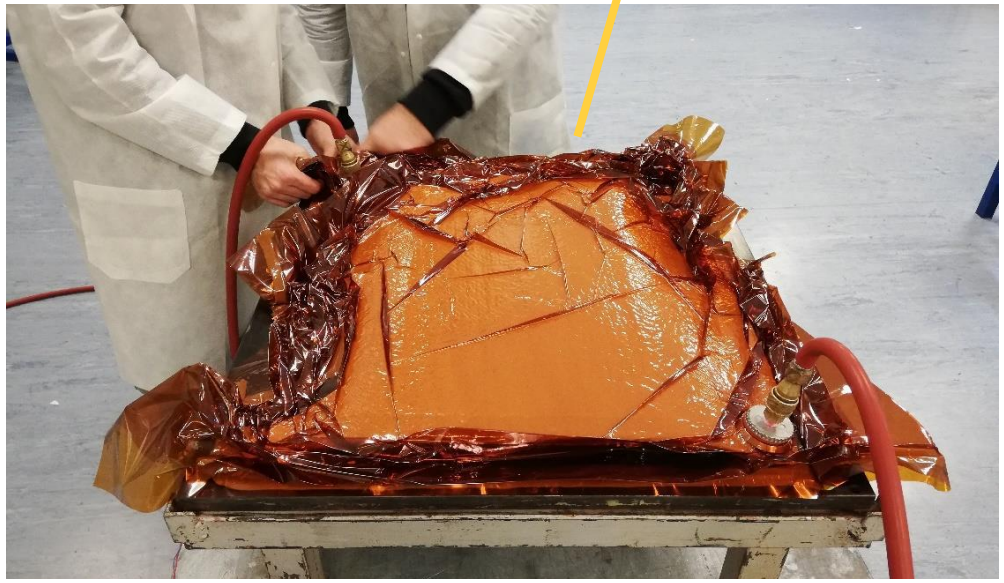




WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE ASSIEME

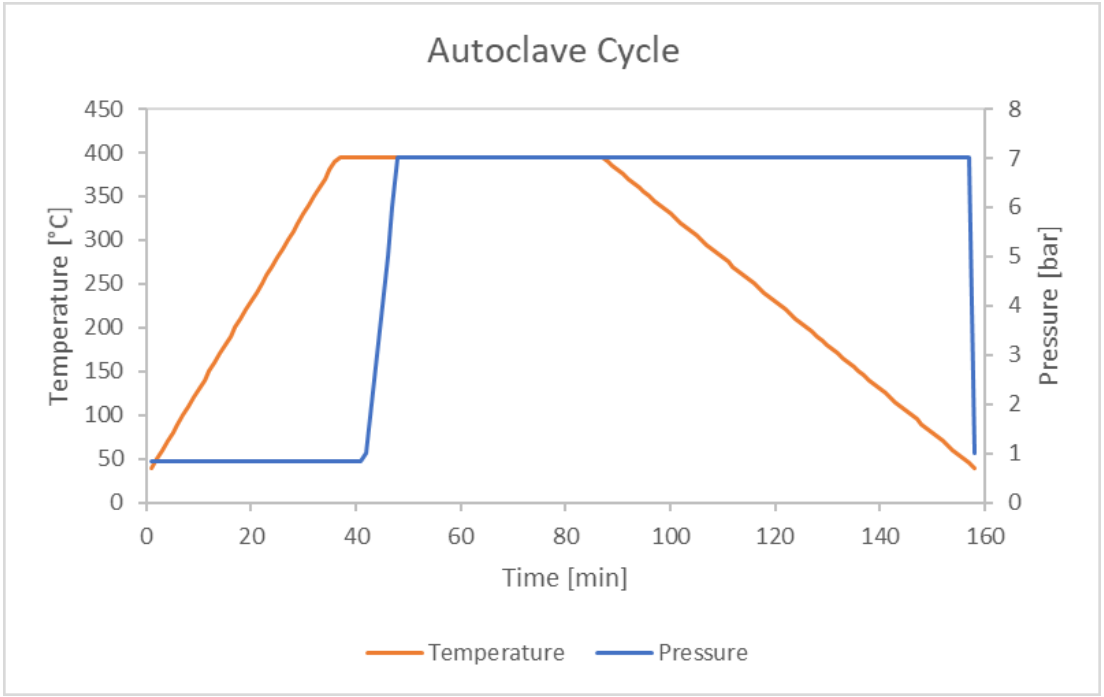
Realizzazione sacco a vuoto:



WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

PRODUZIONE ASSIEME

Inserimento in autoclave:



WP5 - REALIZZAZIONE DIMOSTRATORE TECNOLOGICO

Preliminari controlli visivi (esterni) mostrano l'assenza di:

- Delaminazioni
- Accumuli di resina
- Scollaggi
- Distorsioni
- Svergolamenti

■ Realizzazione dimostratore

- Simulazioni numeriche del processo di formatura ⇒ riduzione tempi e costi di progettazione.
- Preliminare verifica dell'affidabilità della giunzione (test ENF) ha mostrato buone performance.
- Realizzabilità degli stringers mediante processo di press forming in sostituzione del tradizionale vacuum bagging ⇒ riduzione tempi e costi.
- Realizzabilità di un assieme a geometria complessa mediante processo one shot in autoclave.

SVILUPPI FUTURI

Controlli non distruttivi: controlli geometrico/dimensionale e ultrasuoni.

Controlli distruttivi: test di caratterizzazione meccanica.

ing. Gianpaolo Gagnolato, g.gagnolato@tecnavan.it
Responsabile Ingegneria Industriale e di Produzione

prof. Luca Sorrentino, luca.sorrentino@unicas.it
Professore di Tecnologie e Sistemi di Lavorazione

prof.ssa Susanna Laurenzi, susanna.laurenzi@uniroma1.it
Professore di Costruzioni e Strutture Aerospaziali