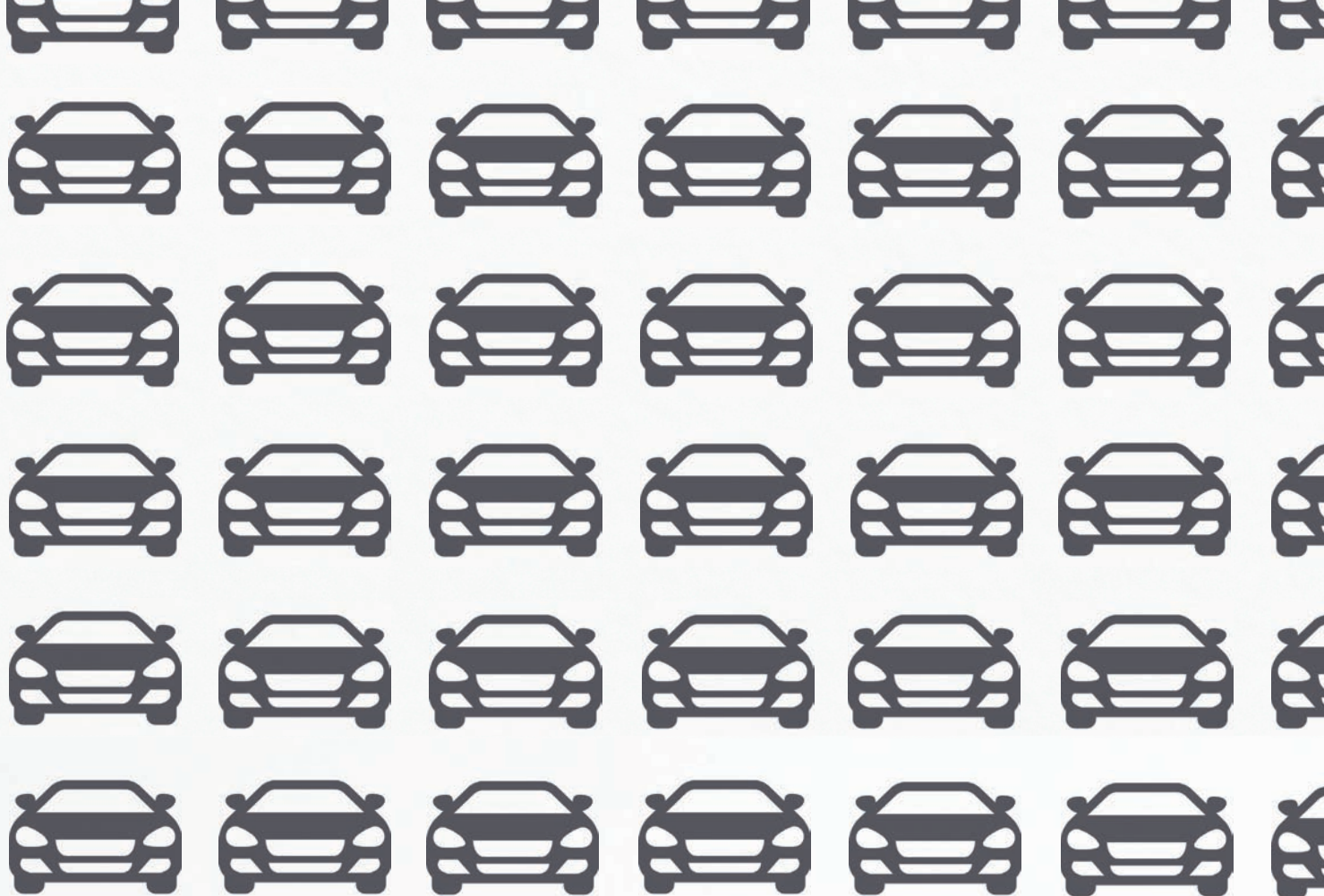




Call for papers **AUTOMOTIVE**

Following the success of previous Call for Papers, this time we decided to focus on another specific area of application: the automotive industry

Selected projects



**Experimental and virtual Characterization
of biobased materials for automotive applications**

Web-based composites for sustainable automotive components

CosiMo Project

**Restomod Maserati MV 3200 GTC:
the analogic dream making-of**

**Successful use of professional 3D printing and high-performance
composite material in the manufacturing of airbag housing container**

Technologies in response to the hydrogen challenge for composite material tanks

**Evolving Hybrid Process Expands Design Options
for Affordable Structural Thermoplastic Composite Parts for Motorsports**

BROWSE THE MAGAZINE AND READ THE PROJECTS



Caratterizzazione sperimentale e virtuale di materiali biobased per applicazioni automotive



Il settore dei trasporti contribuisce per il 14% alle emissioni della UE di biossido di carbonio (CO_2) [1]. Dal 2009, la legislazione UE fissa obiettivi di riduzione delle emissioni per le auto nuove (per il 2025 il limite di emissioni di CO_2 è fissato in 75 g/km). Uno dei modi per ridurre le emissioni di CO_2 è quello di ridurre il peso dei veicoli. L'alleggerimento può essere conseguito sostituendo i metalli, usati per carrozzeria e telaio, con polimeri, compositi e leghe leggere. Questo approccio è fondamentale nella mobilità ibrida ed elettrica. Inoltre, occorre incrementare la sostenibilità dei veicoli riducendone la carbon footprint con l'uso di materiali riciclabili e riutilizzabili alla fine del ciclo di vita. La UE è intervenuta in questo ambito con la direttiva 2000/53/CE sull'end-of-life Vehicles (ELVs). Considerando che il 15% dei materiali di un veicolo è fatto da polimeri, per aumentarne la sostenibilità occorre aumentare la quota di biopolimeri, polimeri compostabili e polimeri biodegradabili (fig.1) [2].

I MATERIALI SVILUPPATI NEL PROGETTO LIFE-BIOBCOMPO

Il progetto LIFE BIOBCOMPO [1]: Lightweight bio-based polymer composites for lower emission vehicles (LIFE Climate Change Mitigation / LIFE17 CCM/PL/000049, 2018-2021) mira a

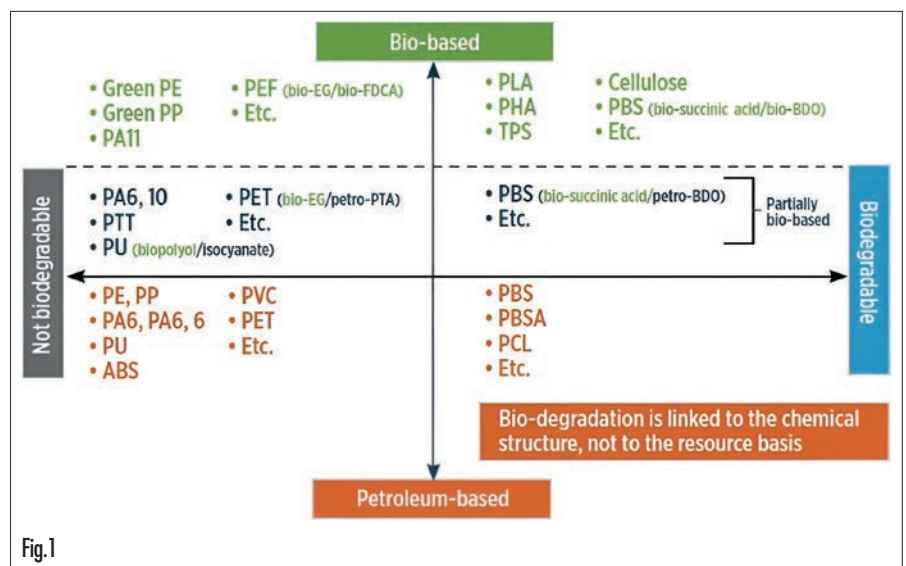


Fig.1



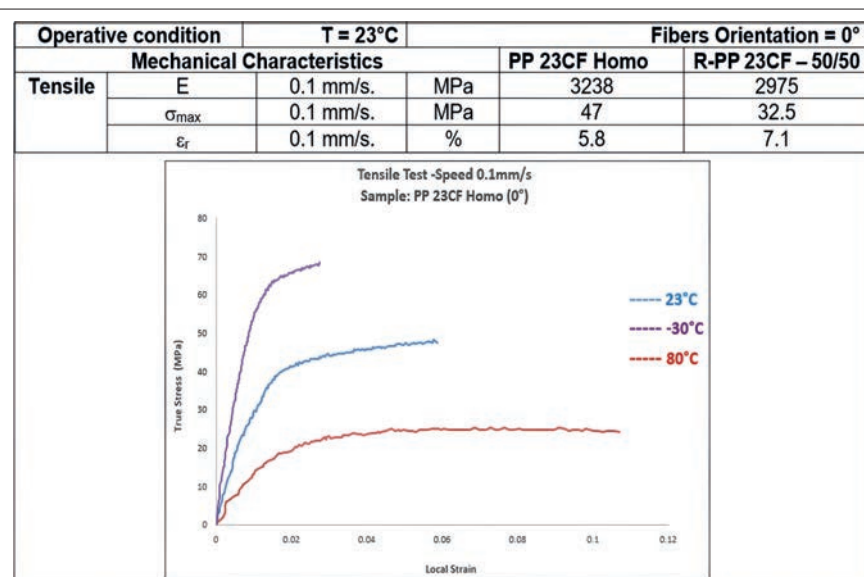
Fig.2



Fig.3

TYPE	REFERENCE STANDARD
Tensile	ISO 527-1, Plastics – Determination of Tensile properties
Bending	ISO 178, Plastics — Determination of flexural properties
Izod	ISO 180, Plastics — Determination of Izod impact strength
Damping	ASTM E756, Standard Test Method for Measuring Vibration Damping Properties of Materials

Tab.1: Prove di caratterizzazione meccanica eseguite sui materiali sviluppati



Tab.2: Risultati prove di trazione del materiale PP-23CF

ridurre la carbon footprint dei nuovi veicoli attraverso innovativi compositi bio-based. L'obiettivo del progetto è ridurre le emissioni di CO₂ dei veicoli dell'8%. Ciò significherebbe un risparmio di 11g di CO₂ per Km per 100kg di peso ridotto. Tale riduzione viene conseguita attraverso la realizzazione di compositi termoplastici a bassa densità derivati da risorse rinnovabili. Le usuali fibre minerali (Glass Fibers (GF) e Talco) sono sostituite con fibre di cellulosa (CF), un materiale biodegradabile e quindi sostenibile. Come verificato dal coordinatore del progetto, SAPA S.p.A., le fibre di cellulosa possono sostituire le cariche minerali per componenti automotive. Ad esempio, la sostituzione del 20% di GF ($\rho=2,48\text{g/cm}^3$) con il 20% di CF ($\rho=1,5\text{g/cm}^3$) determina una diminuzione di peso dei componenti pari a circa l'8%. Nel progetto sono state sviluppate e ottimizzate le seguenti formulazioni di bio-compositi:

- PP-30CF-Homo (Omopolimero di polipropilene con il 30% di fibre di cellulosa (CF))
- PP-20CF-10T-Homo (Omopolimero di polipropilene con il 20% di CF e il 10% di Talco)
- PP-23CF-Homo (Omopolimero di polipropilene con il 23% di CF).

In questo studio sono descritte le attività svolte per il materiale PP-23CF-Homo. Questo materiale può essere impiegato per sostituire il materiale di riferimento PP-20GF-Homo.

Il progetto si è posto come obiettivo di dimostrare che i materiali bio-based sono applicabili su scala industriale per realizzare componenti automotive. I componenti identificati per le verifiche strutturali e di industrializzazione (fig.2) sono:

- riparo aerodinamico laterale Alfa Giulia
- riparo aerodinamico centrale Alfa Giulia
- rinforzo cupolotto plancia Lancia Ypsilon.

RICICLO DEI NUOVI BIOCOMPOSITI

Per ridurre i costi e l'impatto ambientale

	ϵ_r %	σ_{max} MPa	E MPa
STEP0	9.45	32.20	2700
STEP1	8.70	31.30	2750
STEP2	8.34	29.50	2650
STEP3	8.37	28.90	2600

Tab.3: Risultati prove di trazione su PP-23CF (riciclo meccanico)



Fig. 4

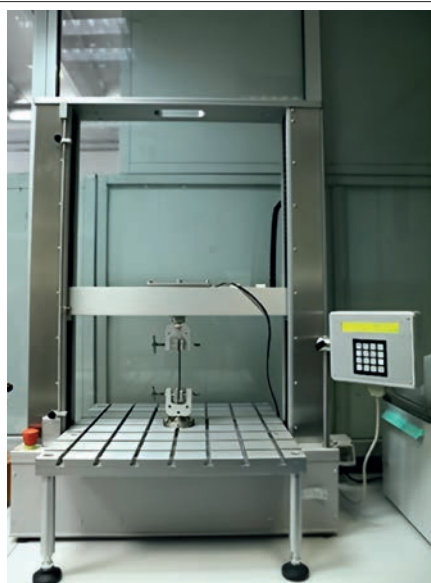


Fig. 5



sono state sviluppate da SAPA S.p.A. formulazioni riciclate con polipropilene di post-consumo (R-PP). Questo PP deriva dal riprocessamento di prodotti a fine vita. In particolare, è stata sviluppata la formulazione R-PP-23CF 50/50 realizzata con il 50% di R-PP e con il 50% di PP vergine. Oltre al riciclo tramite PP di post-consumo, è stato valutato l'effetto del riciclo meccanico sulle proprietà meccaniche del materiale vergine. In questo processo (realizzato da SAPA), il primo passo (STEP0) è quello di stampare ad iniezione provini del materiale vergine PP-23CF. I provini STEP0 vengono quindi caratterizzati dal punto di vista termico, reologico e meccanico. Nel passo successivo i provini STEP0 vengono ridotti a granuli, e riprocessati per la produzione di provini definiti STEP1. Questo processo viene ripetuto altre due volte ottenendo provini STEP2 e STEP3 (fig.3). Ad ogni STEP i provini vengono caratterizzati per un confronto con i provini STEP0.

CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DEI NUOVI BIOCOMPOSITI E DEI MATERIALI RICICLATI

I materiali sviluppati nel progetto, sono stati sottoposti a caratterizzazione termica, reologica e meccanica. La caratterizzazione meccanica del materiale vergine e del materiale R-PP è stata condotta nei laboratori del CRF. Le prove di caratterizzazione meccanica e le norme internazionali di riferimento sono visibili in tabella 1 [3].

Le prove di caratterizzazione meccanica sono servite a:

- comparare le performance dei materiali di riferimento con i materiali sviluppati
- determinare le proprietà meccaniche necessarie alle attività CAE.

Le prove a trazione sono state condotte con le seguenti condizioni operative:

- test di trazione con velocità di carico di 0.1 mm/s, temperature di -30 °C, +23 °C, +80 °C, direzioni di orientazione delle fibre a 0° e 90°
- test di trazione con velocità di carico di 10 mm/s, temperature di -30 °C, +23 °C, +80 °C, direzioni di orienta-

zione delle fibre a 0° e 90°.

I risultati delle prove sono visibili in tabella 2.

Le prove di trazione hanno verificato l'allineamento delle performance dei materiali vergini con i materiali di riferimento.

Si osserva inoltre un decremento delle proprietà passando dal materiale vergine al materiale R-PP 50/50. Il decremento dipende dalla degradazione che subisce R-PP nel processo di riciclo.

Resta da verificare se tale decremento inficia l'utilizzo dei materiali nei componenti. A tale scopo, sono state fatte analisi strutturali su un componente Alfa Romeo (fig.4) ed è stato verificato che sia con i dati di trazione del materiale vergine, sia con i dati del materiale riciclato, vengono rispettati alcuni target prestazionali del componente. I materiali riciclati, quindi, possono essere usati all'interno del prodotto automotive e potranno essere migliorati al fine di recuperare parte delle proprietà meccaniche perse nel processo di riciclo ad un costo accettabile.

I materiali realizzati con riciclo meccanico sono stati caratterizzati parte in CRF e parte in SAPA S.p.A. (in fig.5 dinamometro SAPA).

I risultati sono visibili in tabella 3.

Consideriamo che da STEP0 a STEP3 la fibra riduce le proprie dimensioni.

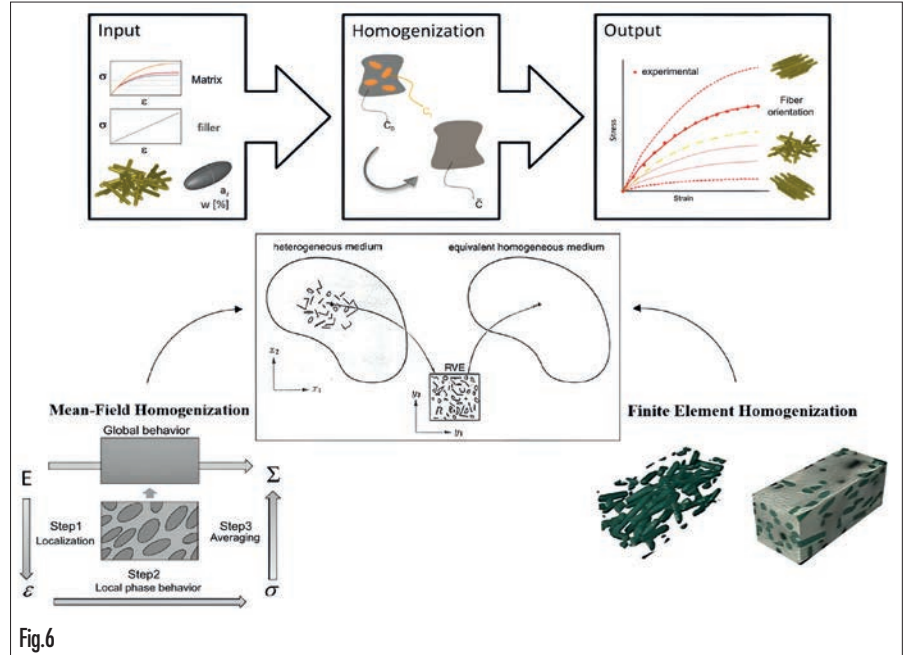


Fig.6

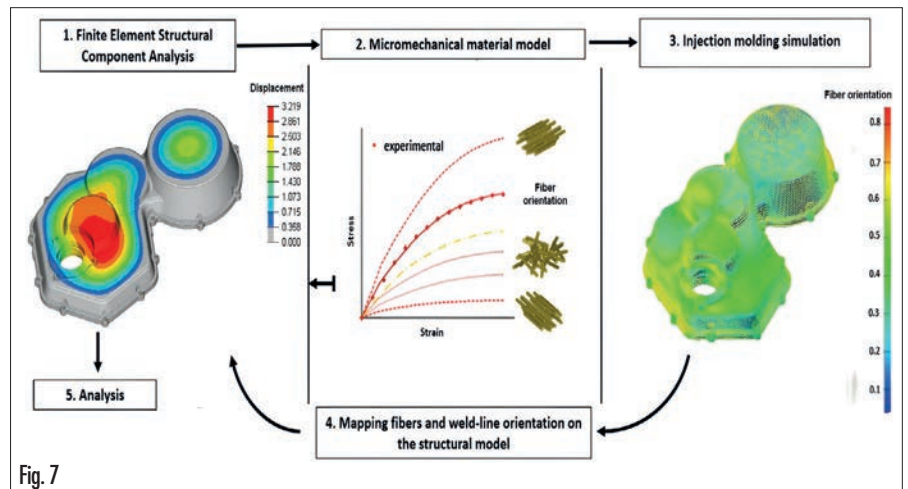


Fig. 7

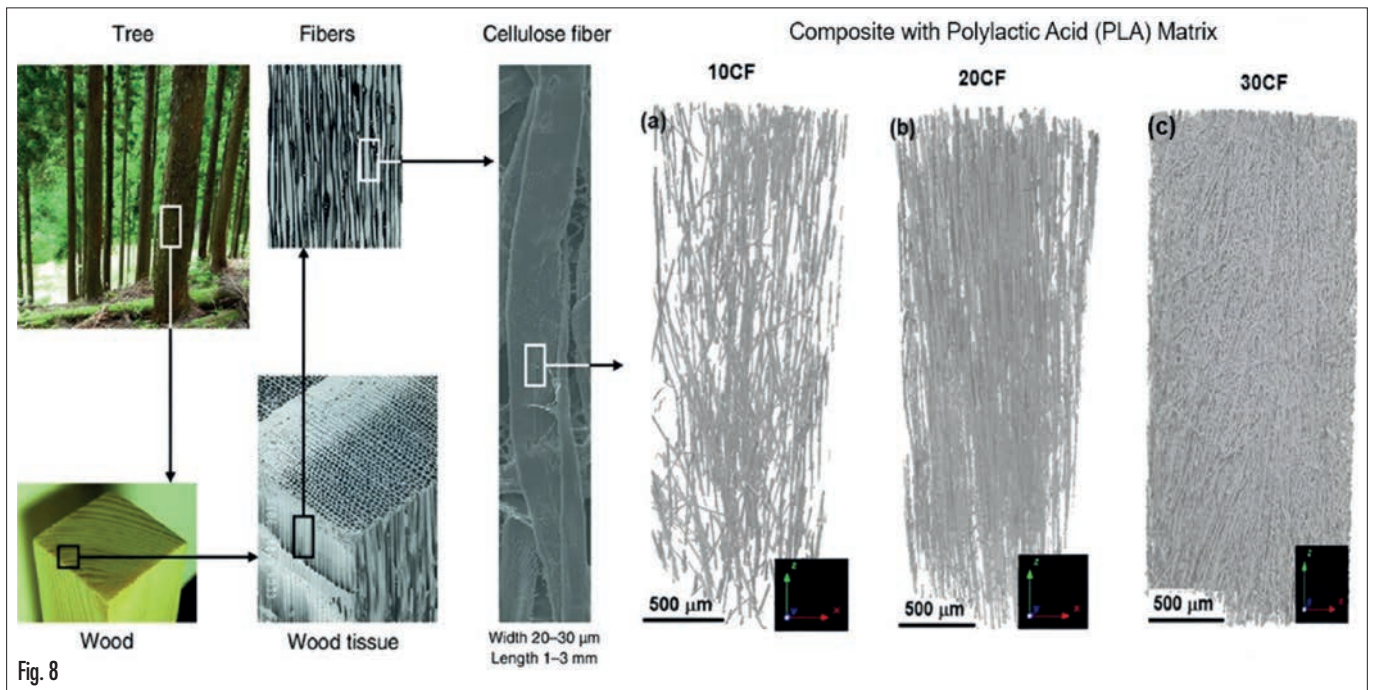


Fig. 8

La dimensione di fibra determina il trasferimento ottimale del carico alla matrice. La riduzione delle dimensioni di fibra inficia questo meccanismo e quindi determina una riduzione delle performance. Dai dati di test di trazione si rileva una riduzione del modulo di elasticità passando da STEP0 a STEP3 pari al 4%, valore accettabile per le applicazioni di destinazione. Il carico a rottura da STEP0 a STEP3 si riduce del 22%. Infatti, il carico di rottura di materiali compositi short Fibers dipende principalmente dalla matrice. La degradazione delle proprietà del PP nel riciclo meccanico determina quindi una maggiore perdita del carico di rottura nello STEP3.

CARATTERIZZAZIONE VIRTUALE DEI NUOVI BIOCOMPOSITI E DEI MATERIALI RICICLATI

Le attività di caratterizzazione virtuale sono state condotte usando il software di modellazione micromeccanica Digimat della MSC software [4]. Con l'applicativo è possibile modellare materiali esistenti e nuovi materiali (fig.6) e tenere conto nei materiali fibro-rinforzati degli effetti del processo di stampaggio ad iniezione (orientamento delle fibre, stress residui e weld-line) (fig.7).

Nel progetto di ricerca il software Digimat è stato impiegato per i seguenti materiali:

- PP-23CF Homo (Materiale Vergine)
- PP-23CF R-PP (Materiale 50/50).

L'attività di modellazione, correlata con i dati sperimentali, ha consentito di indicare un modo per migliorare le prestazioni del materiale riciclato in modo da recuperare il divario con il materiale vergine. Tramite ricerca bibliografica sulle fibre di cellulosa (fig.8) sono state dedotte le seguenti informazioni [5]:

- dimensione delle fibre ($D=0.02$, 0.03 mm, $L=1.3$ mm)
- microstruttura e orientamento delle fibre.

Con queste informazioni è stato possibile costruire un modello micromeccanico del PP-23CF Homo (fig.9).

Per il PP-CF23 Homo sono stati impostati i parametri del modello elastopla-

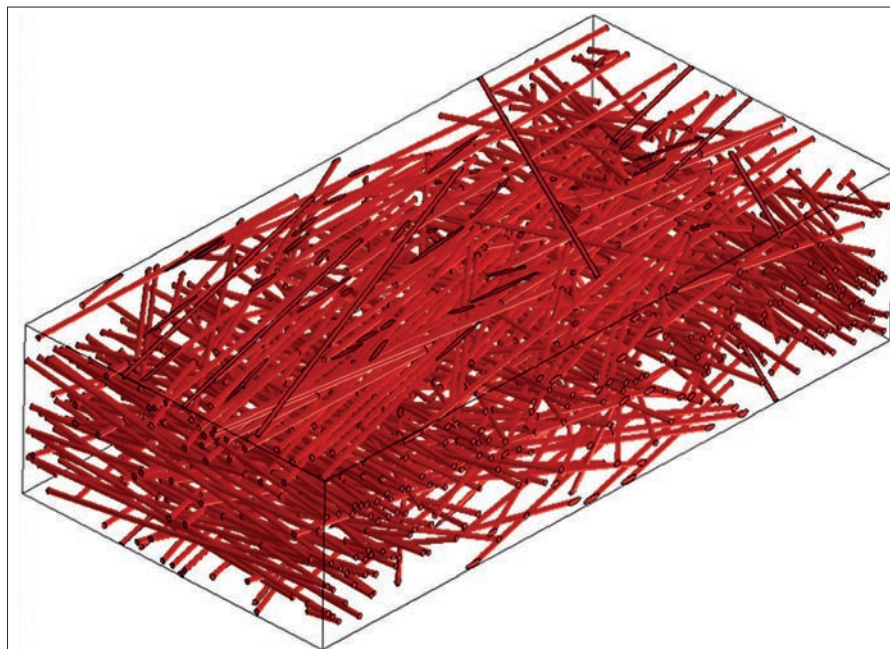


Fig. 9

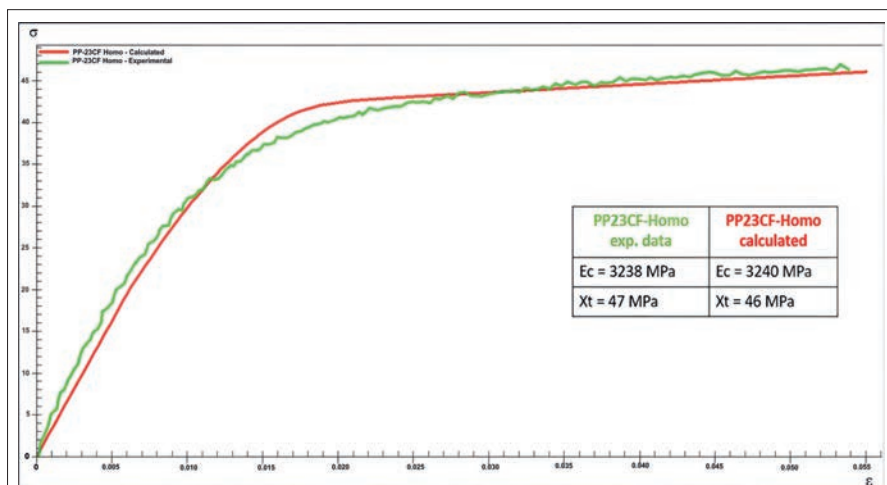


Fig. 10

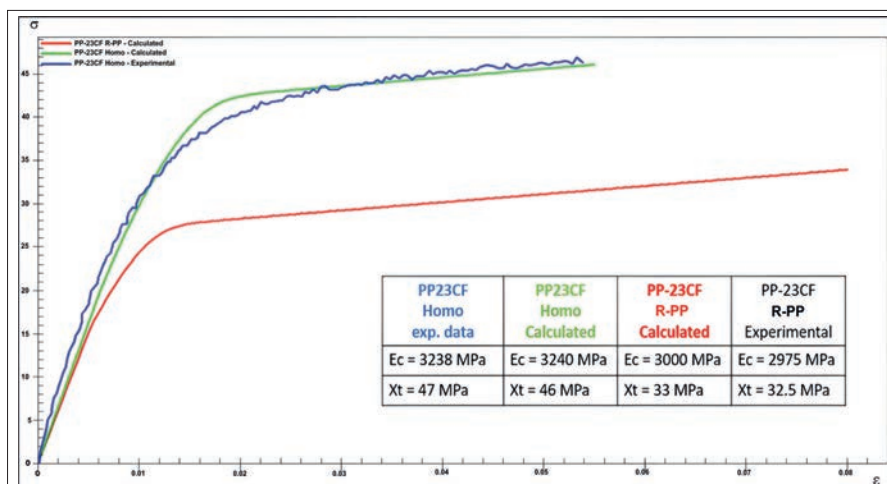


Fig. 11

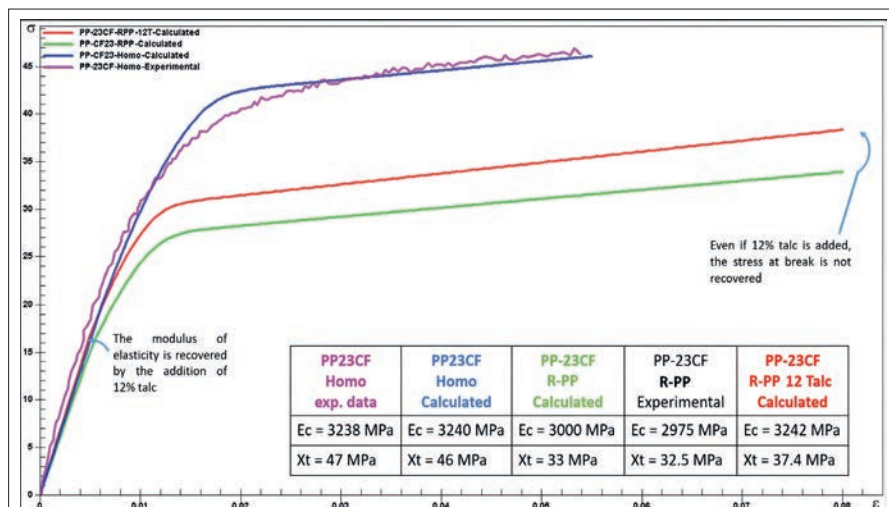


Fig. 12

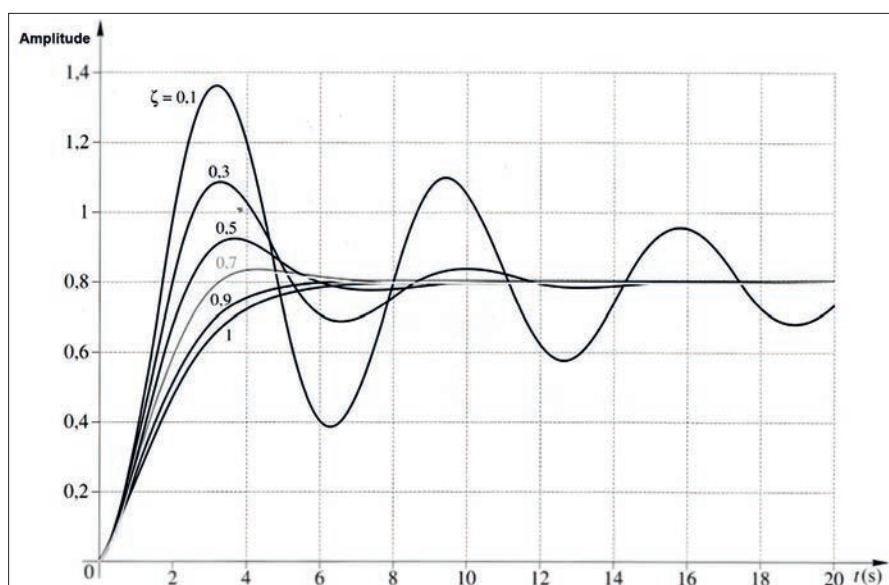


Fig. 13

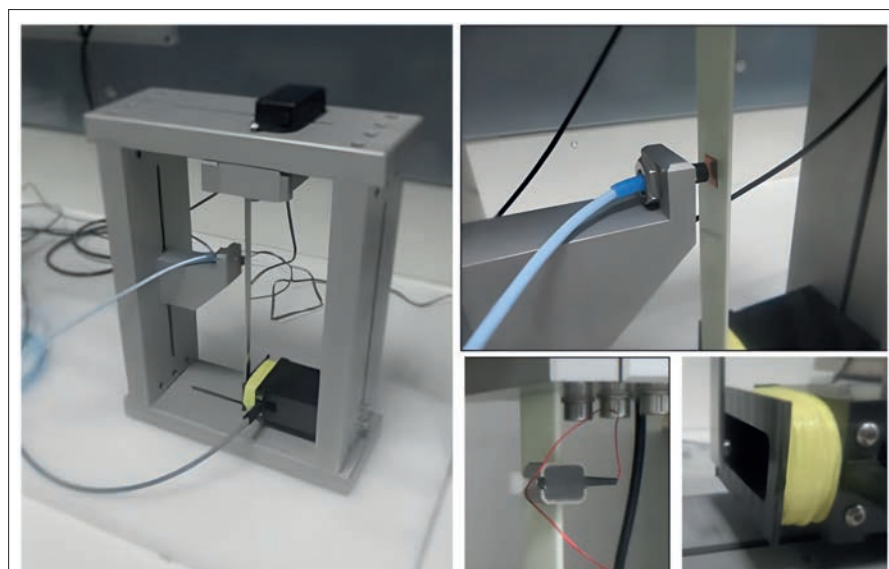


Fig. 14

stico del PP, le proprietà ed il tensore di orientazione delle fibre. Con un carico uniaassiale di trazione è stato possibile determinare la curva stress-strain e le caratteristiche meccaniche confrontate con i dati sperimentali (fig.10). Per i materiali riciclati R-PP la modellazione ha richiesto le seguenti ipotesi sulla diminuzione delle proprietà di R-PP causata dall'invecchiamento con aumento di umidità:

- dal confronto dei dati sperimentali tra materiale vergine e R-PP si è ottenuta una diminuzione del modulo elastico dell'8% per R-PP-23CF
- le fibre CF cambiano la distribuzione di orientamento nei materiali R-PP
- le proprietà elastoplastiche del PP si trasformano nei materiali R-PP.

In figura 11 possiamo vedere i dati calcolati confrontati con i dati sperimentali per il materiale PP-23CF-Homo e il materiale riciclato R-PP-23CF.

Nella fase finale di questa attività si è cercato di fornire un modo economico per modificare la composizione del materiale R-PP in modo da recuperare le proprietà meccaniche rispetto al materiale vergine. Si è ipotizzato quindi di aggiungere una percentuale di Talc al materiale. Nel caso di R-PP-23CF ne viene aggiunto il 12%. I risultati ottenuti sono mostrati in figura 12.

L'aggiunta del 12% di Talc ha riportato il valore del modulo elastico al valore del materiale vergine. Tuttavia, lo stress a rottura non viene recuperato. Infatti, la degradazione del materiale polimerico è un processo sostanzialmente irreversibile.

MISURA DEL DAMPING DEI NUOVI BIOCOMPOSITI E DEI MATERIALI REALIZZATI CON RICICLO MECCANICO

Il Damping di un materiale è la capacità di attenuare le vibrazioni. Il comportamento di un materiale viscoelastico è caratterizzato da una relazione fra sforzi e deformazioni che dipende dal tempo e dalla velocità di applicazione del carico ($\sigma = \mu \, d\epsilon/dt$) [6]. Applicando un carico ciclico, la curva di carico non si sovrappone alla curva di risposta. L'angolo di fase δ tra carico e rispo-

Materiale Origine PP CF23 Homo STEP 0 (media su 5 provini)			Materiale Riciclato PP CF23 STEP 1 (media su 5 provini)		
Δ Frequenza [Hz]	Loss Factor ($\eta\%$)	Damping Ratio ($\zeta\%$)	Δ Frequenza [Hz]	Loss Factor ($\eta\%$)	Damping Ratio ($\zeta\%$)
50-100	4.58	2.30	50-100	4.60	2.30
400-500	6.25	3.11	400-500	6.36	3.17
900-1100	8.92	4.44	850-1100	8.54	4.23
1800-2100	7.70	3.84	1750-2100	9.10	4.52

Materiale Riciclato PP CF23 STEP 2 (media su 5 provini)			Materiale Riciclato PP CF23 STEP 3 (media su 5 provini)		
Δ Frequenza [Hz]	Loss Factor ($\eta\%$)	Damping Ratio ($\zeta\%$)	Δ Frequenza [Hz]	Loss Factor ($\eta\%$)	Damping Ratio ($\zeta\%$)
50-100	4.68	2.34	50-100	4.68	2.34
400-500	6.49	3.25	400-500	6.86	3.42
900-1150	9.94	4.96	900-1100	9.85	4.90
1750-2200	8.59	4.29	1800-2100	9.10	4.52

Tab. 4: Risultati delle misure Damping per il materiale PP CF23 (riciclo meccanico)

mantenendo le stesse performance strutturali. I risultati sono incoraggianti e spingono ad ulteriori fasi di sviluppo. Sono state studiate anche formulazioni di materiali riciclati sia usando polipropilene di post-consumo (a fine vita dei prodotti) sia il riciclo meccanico del composito vergine. I materiali realizzati con riciclo meccanico hanno mostrato un buon allineamento con i materiali vergini sia nelle proprietà meccaniche che nelle misure del Damping. Infine, sui materiali realizzati con riciclo del polipropilene di post-consumo è stata sviluppata una metodologia di modellazione micromeccanica del materiale in cui si determina la quantità di talco da aggiungere per aumentarne le proprietà meccaniche e compensare il degrado della matrice dovuta alla fase di riciclo.

BIBLIOGRAFIA/REFERENCES

- [1] LIFE-BIOBCOMPO Grant Agreement
- [2] NRC Canada, Dicembre 2015
- [3] Experimental Characterization of Advanced Composite Materials, A. Carlsson, 2002, CRC Press
- [4] Digimat User's Manual
- [5] Development of completely dispersed cellulose nanofibers, A. Isogai, 11 April 2018, Materials Science, Japan Academy.
- [6] Tesi di Laurea, Valutazione vibroacustica di un materiale innovativo per il padiglione di un'auto sportiva coupé, N. Cascone, 2019, Università degli studi di Salerno.
- [7] Macchina Damping User's Manual.

RINGRAZIAMENTI

Con il contributo del programma LIFE della Unione Europea
LIFE 17 CCM/PL/000049
LIFE BIOBCOMPO

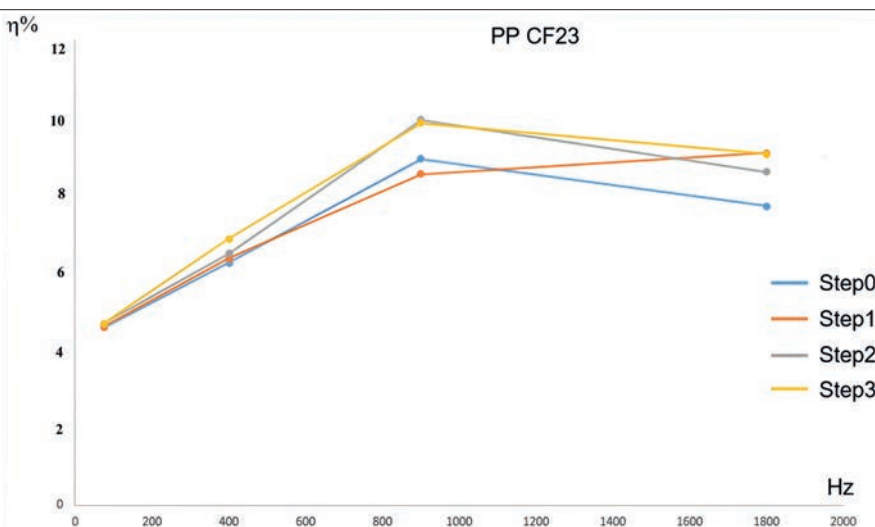


Fig. 15

sta determina dissipazione di energia meccanica. La $\tan\delta$ è definita smorzamento (η). Esiste un valore critico η_c superato il quale il moto non presenta vibrazioni (fig.13). Il damping ratio è il rapporto tra il valore attuale ed il valore critico di η ($\zeta = \eta/\eta_c$).

I laboratori del CRF sono dotati di una macchina per la misura del loss factor (η) e del Damping ratio (ζ) dei materiali (fig.14) ricavati in base alla norma ASTM E756 [7].

(η) e (ζ) sono parametri fondamentali in diverse attività CAE nel processo di sviluppo automotive.

Nel progetto sono stati misurati (η) e (ζ) dei materiali realizzati per riciclo meccanico. I risultati sono visibili in

tabella 4.

In figura 15 si osserva l'andamento di (η) al variare della frequenza.

L'andamento mostra come il PP CF23 incrementa (η) passando da STEP1 a STEP3 rispetto allo STEP0.

CONCLUSIONI

Il progetto LIFE-BIOBCOMPO ha sviluppato nuovi materiali bio-based per applicazioni automotive costituiti da polipropilene e fibre di cellulosa. Le attività di caratterizzazione meccanica, analisi strutturale sui componenti di vetture STELLANTIS e analisi di fattibilità produttiva, hanno consentito di valutare la potenzialità dei nuovi materiali nel sostituire i materiali di riferimento

Experimental and virtual Characterization of biobased materials for automotive applications

The transport sector in EU space it contributes for about 14% for the CO₂ emission [1]. Since 2009, the EU legislation has fixed the targets for the reduction of new cars emissions (for the 2025 the CO₂ emission limit is fixed in 75 g/km). A way to reach CO₂ emission limit is the reduction of vehicles' weight. Lightening can be realized substituting the metals used for the underbody and upper body of the vehicles, with polymers, composites, and light alloys. This approach is fundamental for hybrid and electric mobility. It's necessary also to improve the sustainability of the vehicles reducing the carbon footprint using recyclable and reusable materials (after the end of the life cycle). The EU commission has emitted in this field the 2000/53/CE regulation on the end-of-life Vehicles (ELVs). Considering that the vehicles are made with the 15% of polymers, to increase the sustainability it is necessary to increase the percentage of biopolymers, compostable polymers and biodegradable polymers (fig.1) [2].

THE MATERIALS DEVELOPED IN LIFE-BIOBCOMPO PROJECT

The LIFE-BIOBCOMPO project [1]: Lightweight bio-based polymer composites for lower emission vehicles (LIFE Climate Change Mitigation / LIFE17 CCM/PL/000049, 2018-2021) aims to reduce the carbon footprint of the new vehicle's, through innovative bio-based composites. The main objective of the project is reducing the CO₂ emission of the vehicles of about 8%. This represents a saving of 11g of CO₂ for each Km for 100kg of weight reduced. The reduction is realized through the developing of low-density thermoplastic composites derived from renewable resources. The mineral fibers (Glass Fibers (GF) and Talc) normally used are replaced by cellulose fibers (CF), a biodegradable material and so more sustainable. As verified by project coordinator, SAPA S.p.A., cellulose fibers can substitute the mineral fibers in automotive components. An example, replacing 20% of GF ($r=2,48\text{g/cm}^3$)

with 20% of CF ($r=1,5\text{g/cm}^3$), reduces the weight of the component of about 8%. During the project, the following bio-composites formulations have been developed and optimized:

- PP-30CF-Homo (Polypropylene Homopolymer with the 30% of cellulose fibers (CF))
- PP-20CF-10T-Homo (Polypropylene Homopolymer with the 20% of CF and 10% of Talc)
- PP-23CF-Homo (Polypropylene Homopolymer with the 23% of CF).

In this study the activity made for the material PP-23CF-Homo is described. This material can be used to replace the reference material PP-20GF-Homo.

At the end the project has demonstrated that the new bio-based materials are applicable on industrial scale to realize automotive components. The components selected for the structural and manufacturing validation (fig.2) are:

- lateral aerodynamic shield of the Alfa Romeo Giulia
- central aerodynamic shield of the Alfa Romeo Giulia
- dashboard dome reinforcement for Lancia Ypsilon.

RECYCLING OF THE INNOVATIVE BIO-COMPOSITES

In order to reduce the costs and the environmental impact, recycled formulations with post-consumer polypropylene (R-PP) have been developed by SAPA S.p.A. This PP derives from reprocessing of products at the end life. Particularly, the R-PP-23CF 50/50 formulation made with 50% of R-PP and 50% of virgin PP has been developed. Furthermore, the effect of mechanic recycling on the mechanical properties of the virgin material has been evaluated. In this kind of recycling process (developed by SAPA), the first step (STEP0) is the injection molding of specimens of the virgin material PP-23CF. The STEP0 specimens are subjected to thermal, rheological, and mechanical characterization. In the next step the STEP0 specimens are reduced to granules and reprocessed to realize new specimens denoted STEP1. This process

is repeated two more times to obtain STEP2 and STEP3 specimens (fig.3). For each STEP the specimens are characterized to compare the results with STEP0 specimens.

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF THE INNOVATIVE BIO-COMPOSITES AND RECYCLED MATERIALS

The materials developed in the project have been subjected to thermal, rheological, and mechanical characterization. Mechanical characterization has been carried out in CRF laboratories. The mechanical characterization tests and the reference international standards are seen in table 1 [3].

The mechanical characterization tests they have been useful to:

- compare the performance of the reference materials with the developed materials
 - determine the mechanical characteristics necessary for the CAE activities.
- The tensile tests have been carried out in the following operative conditions:
- tensile test with applied load speed equal to 0.1 mm/s, temperature equal to -30 °C, +23 °C, +80 °C, fibers orientation equal to 0° and 90°
 - tensile test with applied load speed equal to 10 mm/s, temperature equal to -30 °C, +23 °C, +80 °C, fibers orientation equal to 0° and 90°.

Tests results show in table 2.

With the tensile tests results we have verified the accordance of the performance of the virgin materials with the performance of the reference materials. It is also observed a decrease of the properties from virgin material to R-PP 23CF 50/50 material. This reduction is due to degradation of the R-PP in the recycling process.

However, it is necessary to verify if this reduction is acceptable for the use of the recycled materials in automotive components. For this purpose, structural analysis has been made on an Alfa Romeo part (fig.4). With this analysis we have verified that traction properties of both virgin and

recycled material are suitable to achieve some performance targets of the component. So, the recycled materials can be used in the automotive product, and they can be improved for to recover the mechanical properties reduced during recycling process at an acceptable cost.

The materials realized with the mechanical recycling have been characterized in CRF and SAPA S.p.A (in fig. 5 SAPA dynamometer).

Results are shown in table 3.

In the mechanical recycling process the fibers progressively reduce their dimensions from STEP0 to STEP3. The fibers dimensions determine the optimum transfer of the load at the polymer matrix. The fibers dimensions reduction makes this transfer mechanism worse and so determining a reduction of the performance. The data of the tensile tests showed a reduction of the modulus of elasticity from STEP0 to STEP3 equal to 4%, acceptable value for the destination applications. The ultimate stress instead was reduced of the 22%. In effect, the failure of the short fiber's composites is basically dependent from polymer matrix. So, the degradation of the PP in the recycling process determines a major decrease of the ultimate stress into STEP3.

VIRTUAL CHARACTERIZATION OF THE INNOVATIVE BIO-COMPOSITES AND RECYCLED MATERIALS

The virtual characterization activities have been carried out using the Materials Modeling software Digimat from MSC Software. With this software it is possible to model existing materials, new materials (fig.6) and to consider the effects of the injection molding process (fibers orientation, residual stress, and weld-line) in the fibers-reinforced materials (fig.7).

In LIFE BIOBCOMPO research project, Digimat has been used to model the following materials:

- PP-23CF Homo (Virgin Material)
- PP-23CF R-PP (Recycled Material 50/50).

The modeling activity, correlated with experimental data, provided us with a way to improve the performance of the recycled material to close the gap with the virgin material. Through a bibliographic search on the cellulose fibers (fig.8) the following information has been found [5]:

- fibers dimensions ($D=0.02, 0.03$ mm, $L=1.3$ mm)
- microstructure and Fibers orientation in the composite materials.

With this information it is possible to build a micromechanical model of PP-23CF Homo (fig.9).

For this model the parameters for the elastoplastic model of PP, the properties

of the fibers and the orientation tensor for the fibers have been fixed. With a tensile uniaxial load, it has been possible to determine the stress-strain curve and mechanical characteristics compared with experimental data (fig.10).

For the recycled materials R-PP the modeling needs the following hypothesis about the reduction of the properties of R-PP due to aging with increased humidity:

- compared the experimental data of the virgin material and R-PP we obtained a reduction of the elasticity modulus equal to 8% for the R-PP-23CF
- the CF fibers changing the orientation distribution in the R-PP materials
- the elastoplastic properties of PP changing in the R-PP materials.

In fig.11 we can see the calculated results compared with experimental data for the PP-23CF-Homo and recycled material R-PP-23CF.

Through the materials modeling technique we tried to provide an economic way to modify the R-PP formulation to close the gap with the virgin material improved the mechanical performance. It was therefore assumed to add a percentage of Talc to the polymer matrix. For R-PP-23CF the 12% has been added.

The results of the simulation are shown in fig.12. The 12% of Talc as shown in the figure, increases the elastic modulus of the recycled material, and fills the gap with the virgin material. This does not happen in the case of the ultimate failure load which remains lower than the value of the virgin material. In effect, the degradation of the polymers in the recycling process is irreversible and as previously said, the fracture of short fibers composite materials depends mainly on the matrix.

DAMPING MEASUREMENT OF THE INNOVATIVE BIO-COMPOSITES AND MATERIALS REALIZED WITH MECHANICAL RECYCLING PROCESS

The damping property of a material is the capacity of attenuating vibrations. The viscoelastic behavior of a material is characterized from a stress-strain relation depending on time and the load application velocity ($\sigma = \mu \, d\epsilon/dt$). With a cyclic load, the load curve does not overlap with the response curve [6]. The phase angle δ between load and response determines the dissipation of mechanical energy. The $\tan \delta$ is defined as loss factor (η). There is a critical value η_c that, if exceeded, sets vibrations to zero (fig.13). The damping ratio is equal to the actual value of η divided by the critical value ($\zeta = \eta/\eta_c$).

CRF has an equipment to measure loss factor (h) and Damping ratio (z) of the materials (fig.14). These parameters are

measured through ASTM E756 standard [7].

(h) e (z) are fundamental parameters for several CAE activities in the development of automotive products.

We have measured (h) and (z) of the materials realized with mechanical recycling process. Results are shown in table 4.

In fig.15 the trend of (h) with the variation of the frequency is shown.

This trend shows as PP CF23 increases (h) from STEP1 to STEP3 compared with STEP0.

CONCLUSIONS

LIFE-BIOBCOMPO has developed innovative bio-based materials for automotive applications made of polypropylene and cellulose fibers. The mechanical characterization activities, structural analysis, and manufacturing process validation on STELLANTIS components have proved the potential of these new materials to substitute the reference materials with the same structural performance. The results are encouraging and push for further stages of development. Recycled materials formulations using post-consumer polypropylene (at end-of-life products) have been studied. Furthermore, the mechanical recycling process of the virgin composite material has been evaluated. The material derived from mechanical recycling process showed a good accordance with the virgin materials for both static mechanical properties and damping properties. Moreover, a methodology for the micromechanics modeling has been developed for the materials realized with recycling of post-consumer polypropylene. Such methodology has allowed to determine the quantity of talc to be added to increase mechanical properties of the recycled material and compensate the degradation of the matrix due to the recycling phase.

ACKNOWLEDGEMENTS

With the contribute of the
LIFE European Union Program
LIFE 17 CCM/PL/000049
LIFE BIOBCOMPO

All the mentioned figures refer
to the Italian version

Tab.1: Mechanical characterization tests realized on the developed materials

Tab.2: Tensile tests results PP-23CF

Tab.3: Tensile tests result on PP-23CF (mechanical recycling)

Tab.4: Damping measure for PP CF23 (mechanical recycling)

Compositi web-based per componenti sostenibili nell'automotive

Negli ultimi anni, i materiali compositi sono sempre più diffusi nell'industria automobilistica, dove alte prestazioni e leggerezza ricoprono un ruolo centrale. Ciò è dovuto alle caratteristiche peculiari che li rendono versatili per molti settori produttivi. Questi materiali stanno, inoltre, subendo miglioramenti che ne causano una drastica riduzione dei prezzi. L'uso su larga scala dei compositi ha portato anche alla necessità di un efficace smaltimento dei rifiuti, in particolare delle fibre di carbonio, a causa del loro elevato impatto in termini di CO₂ [1]. Da questa necessità sono stati sviluppati diversi metodi di riciclaggio che stanno raggiungendo scala industriale. La figura 1 mostra un esempio di economia circolare. Tuttavia, è necessario considerare alcuni aspetti negativi del riciclo di questi materiali. Uno è il danneggiamento delle fibre che porta ad una riduzione della lunghezza e, di conseguenza, del loro potenziale di rinforzo. Allo stesso modo, sono state utilizzate diverse matrici. Dapprima i termoindurenti hanno avuto largo impiego in questo campo e, successivamente, anche i polimeri termoplastici hanno iniziato a prendere piede. Molti componenti, prima realizzati con materiali metallici, possono ora essere sostituiti da compositi con uguali prestazioni, consentendo un risparmio di peso senza incremento dei costi.

Questo aspetto è particolarmente importante quando si tratta di produzione su larga scala. Ad esempio, nell'industria automobilistica, l'alleggerimento gioca un ruolo essenziale nell'aumentare l'efficienza dei veicoli.

Recentemente, sono state progettate diverse tecniche di produzione di compositi da materiali riciclati. Il metodo di produzione del non-tessuto impiegato durante questa investigazione è la cardatura, che produce il cosiddetto

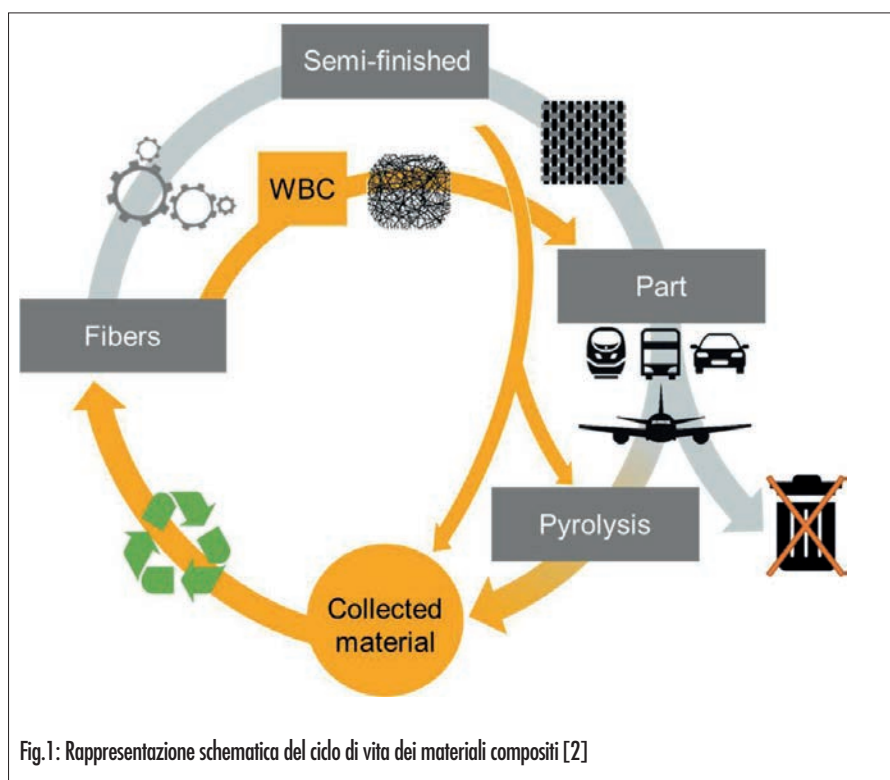


Fig. 1: Rappresentazione schematica del ciclo di vita dei materiali compositi [2]

web-based composite (WBC). Questa classe di materiali riciclati, con le sue peculiarità, sta dimostrando un ottimo potenziale in diverse applicazioni [2]. Tuttavia, ci sono aspetti che sono ancora poco sviluppati in questo argomento. Uno di questi è lo studio del comportamento in diverse condizioni di processo. Nel seguente lavoro si indaga, partendo da un WBC realizzato con fibre di PA6 (poliammide 6) e rCF (fibre di carbonio riciclate), l'influenza che il grado di consolidamento ha sulle sue proprietà meccaniche.

PROCESSO DI PRODUZIONE

Produzione dei non tessuti

Tutto il materiale utilizzato in questo lavoro è prodotto su una linea industriale KC11 2-4 SD / MEK 11 di Dilo Systems GmbH, Eberbach. La cardatura è un

compromesso tra diverse proprietà, come il danneggiamento delle fibre e l'omogeneità della miscela. All'inizio, le fibre vengono aperte e mescolate fino a raggiungere una distribuzione uniforme. Successivamente, le stesse vengono portate alla macchina cardatrice attraverso un nastro trasportatore. Durante il trasporto, il materiale viene pesato continuamente, in modo che la quantità di fibre in lavorazione sia il più possibile costante nel tempo.

Questo è essenziale affinché il tessuto non tessuto finale abbia un peso areale uniforme. Dopo il processo di cardatura si ottiene un velo molto sottile che viene poi sovrapposto fino ad ottenere lo spessore finale desiderato. Il non tessuto, a questo punto, è molto voluminoso e difficile da maneggiare, viene sottoposto quindi a un'ultima fase,

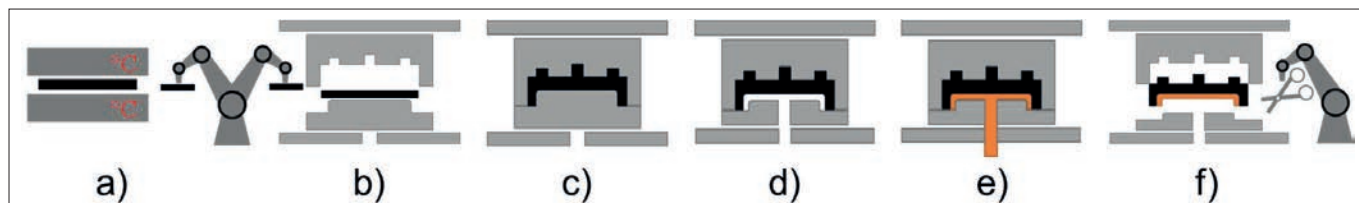


Fig.2: Rappresentazione schematica del processo di termoformatura – sovrastampaggio

l'agugliatura. Questi semilavorati vengono poi pre-consolidati tramite pressatura a caldo.

Pre-consolidamento

In questa fase, il non tessuto viene riscaldato in modo che le fibre termoplastiche siano fuse e poi raffreddato rapidamente, mantenendo sempre una pressione costante. Questo processo continuo si è dimostrato uno dei più efficaci in termini di qualità finale del materiale e di costi. Ciò consente di maneggiare il materiale con estrema facilità durante il successivo processo di termoformatura, in quanto non si comporta più come un tessuto, ma come una lamina.

Termoformatura e sovrastampaggio

I campioni sono stati prodotti con un inserto Engel 1050H 200. Nella figura 2 è riportato uno schema del procedimento. Questo processo semi-automatico è stato scelto in quanto simile a quelli utilizzati dai produttori dell'industria automobilistica. Durante la lavorazione, il campione viene riscaldato in un forno a infrarossi (a) fino a superare di 20 K la temperatura di fusione della matrice e, subito dopo, inserito in uno stampo da un braccio robotico (b) e poi compresso (c). La durata del processo e la temperatura variano strettamente in base al

tipo di polimero utilizzato come matrice, la forza di serraggio è invece mantenuta costante a 2000 kN. Infine, il componente viene sovrastampato iniettando polimero fino a riempire la cavità (e). Il campione viene quindi raffreddato sotto pressione, sformato e rifilato (f). Lo strato superficiale stampato ad iniezione crea una superficie di classe A, adatta alla verniciatura.

SPERIMENTAZIONE E RISULTATI

Sono stati studiati non tessuti con diversi rapporti di miscelazione, contenenti fibre di poliammide (PA6) e fibre di carbonio riciclate (rCF). Il peso areale scelto è 600g/m² con 60 perforazioni per centimetro quadro. Come metodo di caratterizzazione è stata utilizzata la flessione a tre punti. Questo è stato scelto per simulare al meglio le sollecitazioni a cui il materiale potrebbe essere sottoposto durante il suo utilizzo.

La figura 3 riporta un elenco dei materiali implicati e la loro caratterizzazione meccanica. Uno degli obiettivi di questo lavoro è identificare la miscela con il miglior rapporto tra rigidità alla flessione e peso. Pertanto, è stata effettuata una caratterizzazione meccanica dei diversi materiali a diversi livelli di consolidamento. Come si può notare dal grafico, la perdita di modulo elastico causata dal

minor consolidamento è sovracompensata dall'aumento della rigidità alla flessione.

Con l'aumento dello spessore del provino, si osserva una disposizione simile ad una schiuma, come mostrato nella figura 4. In questa struttura 3D, le fibre di carbonio sono il principale elemento portante e la matrice termoplastica agisce da legante. Le fibre di carbonio impediscono inoltre al composito di collassare su sé stesso. Questo fenomeno è più pronunciato all'aumentare della frazione volumica di fibre (FVC).

POSSIBILI APPLICAZIONI

Per sfruttare il potenziale dei compositi a base di tessuto non tessuto, sono ideali le applicazioni in cui è richiesta leggerezza combinata con un'elevata rigidità alla flessione. I pannelli del sottoscocca, i rivestimenti interni (in combinazione con strati estetici) e le parti non strutturali della carrozzeria (cofano, bagagliaio) rappresentano i principali candidati. Per le applicazioni esterne è necessaria la possibilità di essere stampati in forme complesse. Le caratteristiche dei non tessuti ibridi li rendono particolarmente adatti a tali applicazioni. Sono infatti facili da modellare ed altamente personalizzabili [3, 4]. Strutture complesse possono essere costruite in un unico processo,

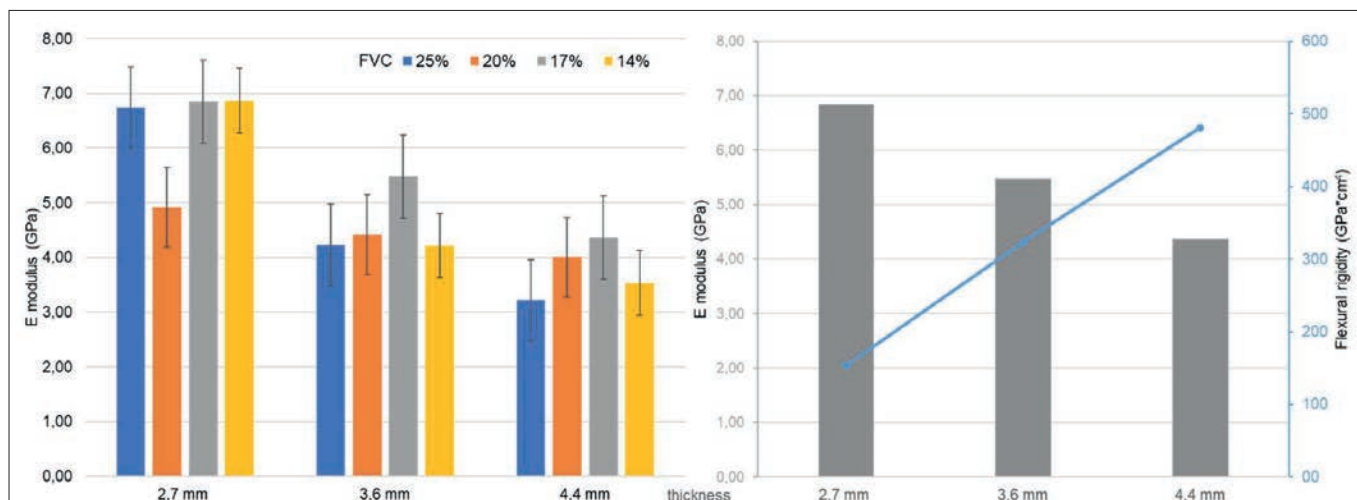


Fig.3: Risultati delle prove di flessione a tre punti

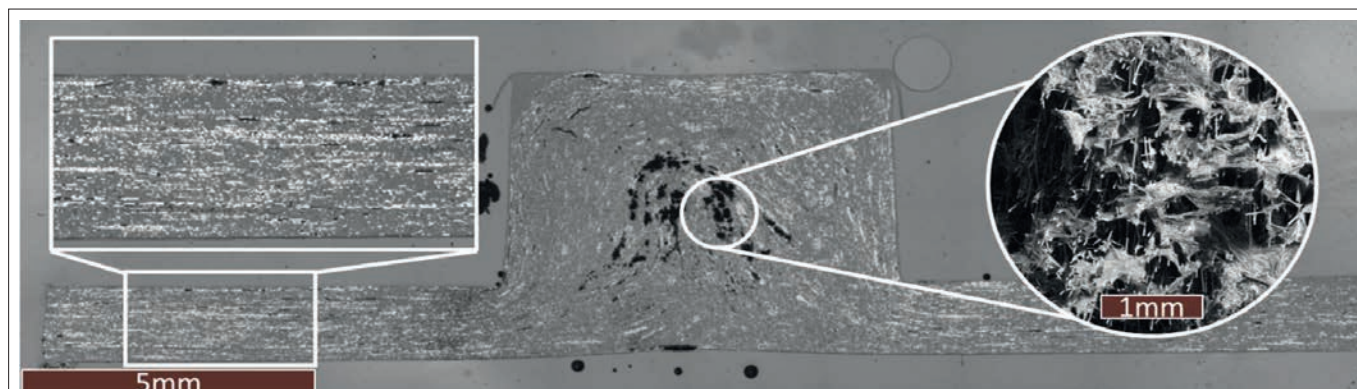


Fig.4: Microsezione che mostra la struttura a schiuma all'interno del materiale [4]

con tempi e costi contenuti per le produzioni medio-grandi. Un campione è stato stampato e poi verniciato; la figura 5 mostra la qualità superficiale ottenibile con questo composito. Il materiale potrebbe essere adatto anche per applicazioni interne all'abitacolo. Ad esempio, senza sovrastampaggio, il materiale mostra eccellenti proprietà meccaniche. Potrebbe quindi essere utilizzato per i pannelli interni, dopo l'applicazione di uno strato estetico (pelle o materiale soft touch) a scelta del cliente. Questo per garantire una finitura di alta qualità senza compromettere la rigidità del pezzo né la sua leggerezza.

CONCLUSIONI

In conclusione, il materiale che mostra il miglior rapporto peso-prestazioni è risultato essere quello con il 14% di FVC. Questo valore insolitamente basso permette di ottenere un composito avente bassa densità ma anche facile ed economico da produrre. L'indagine è stata limitata ai rapporti di miscelazione mostrati nella figura 3 siccome, a FVC più basse, non vi erano

sufficienti fibre di carbonio a formare la struttura a "schiuma" desiderata. Un vantaggio del processo discusso in questo articolo è che si svolge in un'unica fase, proprio come lo stampaggio ad iniezione tradizionale e, alla fine, si ottiene un componente con qualità superficiale di classe A e verniciabile. Di conseguenza, sarà possibile produrre pezzi che, a parità di caratteristiche meccaniche con le loro controparti in plastica pura, saranno più leggeri (dovendo utilizzare meno materiale) ed economicamente competitivi. Il tutto soddisfacendo i requisiti di qualità superficiale richiesti dai produttori automobilistici. L'aumento dell'uso di materiali compositi riciclati mostra un elevato potenziale, soprattutto per la loro versatilità. Offrono possibilità di riduzione del peso senza lo svantaggio dei costi elevati dei materiali vergini. Infatti, come mostrato nell'articolo, è possibile ottenere componenti più leggeri semplicemente aggiungendo una piccola percentuale di fibre di carbonio. Inoltre, le attrezzature utilizzate per la produzione sono attualmente disponibili in commercio ed utilizzate per componenti

a base di plastica pura o compositi in fibra di vetro. Di conseguenza, l'introduzione di questo tipo di materiali sul mercato non richiederebbe grandi investimenti iniziali da parte dei produttori.

BIBLIOGRAFIA/REFERENCES

- [1] ELG Carbon Fibre Ltd: *Converting Composite Waste Into High Quality Reusable Carbon Fibre*; CCeV Recycling Workshop 5th May 2015
- [2] Schlichter, S.; Teichmann F: *Web Based Composites Perspectives -defining a new material class with high potential for recycled carbon fibers (rCF)*; International Conference on Material Innovation 2018 Nürnberg – Germany
- [3] Bücheler, D., Trauth A.: *Processing of continuous discontinuous fiber reinforced thermosets*; SAMPE Europe Conference 2017 Stuttgart – Germany
- [4] Teichmann F, Abel P, Geldhäuser S, Schlichter S: *Development of Web Based Composites – a highly moldable material for semi structural applications*, SAMPE Europe Conference 2020 Amsterdam – Netherlands.



Fig.5: Campione in rCF-PA6 verniciato in nero lucido

Web-based composites for sustainable automotive components

In recent years, the use of composite materials has increasingly expanded in the automotive industry, where high performances and lightweight are the driving forces. This is largely due to their peculiar characteristics which are versatile for many areas of production. Moreover, they are undergoing improvements that cause a drastic reduction in prices.

The large-scale use of composites has also led to the need of an effective waste disposal, in particular of carbon fibers because of their high CO₂ impact [1]. From this necessity, different methods of recycling have been developed and are reaching industrial level. Figure 1 shows an example of circular economy. However, some negative aspects of the recycling of these materials have to be considered. An example is the damage of the fibers leading to a reduction in length and thus reinforcing potential.

In the same way, different types of matrixes have been used. First the thermosets have had wide use in this field and, subsequently, also thermoplastic polymers have started to take hold. Many components, first realized using metallic materials, can now be replaced with composites with equal performances, allowing weight saving without any increase in costs. This is of particular importance when it comes to large-scale production. For instance, in the automotive industry, lightening plays an essential role in increasing the efficiency of vehicles.

Recently, several production methods of composites from recycled materials have been designed. The one implied in this investigation for the non-woven production is carding, producing a so-called web-based composite (WBC). This recycled material class, with its peculiarities, is demonstrating an excellent potential in several applications [2]. Nevertheless, there are aspects that are still underdeveloped in this topic. One of them is the study of the behavior under different processing conditions.

In the following paper, starting from a WBC made of PA6 (Polyamide 6) fibers and rCF (recycled carbon fibers), the influence that the degree of consolidation has on its mechanical properties is investigated.

MATERIAL PRODUCTION PROCESS

Nonwoven production

All the material utilized in this work is produced on an industrial line KC11 2-4 SD / MEK 11 from Dilo Systems GmbH, Eberbach. Carding is a trade-off between different properties such as fiber damage and homogeneity of the mixture. At the beginning, the fibers are opened and mixed until a uniform distribution of the components is reached. Subsequently, the fibers are fed to the carding machine through a conveyor belt. During transport, the material is continuously weighed so that the amount of fibers being processed is as constant as possible

over time. This is essential for the final nonwoven fabric to have an even areal weight. A very thin fleece is obtained after the carding process which is then overlaid to obtain the final desired thickness. The nonwoven, at this point, is very bulky and difficult to handle, therefore it undergoes a final step, needle punching. These semi-finished products are then pre-consolidated with a hot press process.

Pre-consolidation

In this step, the nonwoven is heated up so that the thermoplastic fibers are molten and then rapidly cooled down, always keeping a constant pressure. This continuous process has proven to be one of the most effective in terms of final quality of the material and costs. This allows the material to be handled very easily during the subsequent thermoforming process as it does not behave as a textile anymore but like a foil.

Thermoforming and overmolding

The samples were produced with an Engel insert 1050H 200. A sketch of the setup is provided in Figure 2. This semi-automated process was chosen as it is similar to those used by manufacturers in the automotive industry. During this process, the sample is heated in an infrared oven (a) to 20 K above the melting temperature of the matrix and, immediately afterwards, placed in a mold by a robotic arm (b) and compressed into shape (c). The

duration of the process and the temperature vary strictly depending on the type of polymer used as matrix, the clamping force is instead kept constant at 2000 kN. At last, the component is over-molded by injecting polymer to fill the cavity (e). The sample is then cooled down under pressure, demolded and trimmed (f). The injected surface layer creates a class A surface which is suitable for painting.

EXPERIMENTATION AND RESULTS

Several nonwovens, with different mixing ratios were investigated, containing polyamide (PA6) fibers and recycled carbon fibers (rCF). The areal weight was 600g/m² with 60 needle punches per square centimeter. Three-point bending was used as the mechanical characterization method. This was chosen to better simulate the stresses to which the material may be subjected during its application.

A list of the materials implied as well as their mechanical characterization is provided in Figure 3. One aim of this work is to figure out which mixture shows the highest potential in terms of stiffness to weight ratio. Therefore, a mechanical characterization of different materials at different consolidations is carried out.

As it can be seen from the plot, the loss of elastic modulus caused by the lower level of consolidation is over-compensated by the gain in flexural rigidity.

As the thickness of the specimen increases, a foam-like structure can be observed, as shown in Figure 4. In this 3D layout, carbon fibers are the main load-bearing element and the thermoplastic matrix acts as a binding agent. In this randomly organized structure, carbon fibers also prevent the composite from collapsing on itself. This phenomenon is more pronounced as the fiber volume content (FVC) increases.

FORESEEABLE APPLICATIONS

To exploit the potential of nonwoven-based composite sheets, applications where lightweight combined with a high bending stiffness is required are ideal. Underbody panels, interior cover panels (in combination with esthetic layers), non-structural parts of the body work (hood, trunk) represent the main candidates. For exterior applications they are required to be moldable in complex shapes. The characteristics of hybrid nonwoven make them particularly suitable for such applications. They are indeed easy to mold and have a high degree of customization [3, 4].

Complex structures can then be built in a one step process, time and cost effectively for mid-large productions. A demonstrator part was molded and then painted; Figure 5 shows the surface quality that can be achieved with such composite. The material could be suitable for interior application as well. For example, without overmolding, the material still shows outstanding mechanical properties. It could therefore be implied for interior panels, after an esthetic layer (leather or soft touch material) is applied to the customer liking. This is to ensure a very high-quality finish without affecting the part stiffness nor its lightweight properties.

CONCLUSIONS

In conclusion, the material that shows the best weight to performance ratio has proven to be the one with 14 % FVC. This unusually low carbon fiber percentage allows to obtain a low-density composite which is also easy and cheap to manufacture. This investigation was limited to the mixing ratios displayed in Figure 3 because, with lower FVCs, there were not enough carbon fibers to build up the required foam-like structure.

An interesting advantage of the process discussed in this article is that it

takes place in a single step, just like traditional molding and, at the end of it, components with class A surface quality that can be painted are obtained. As a result, it will be possible to produce parts that, for the same mechanical characteristics as their pure plastic counterparts, will be lighter (having to use less material) and economically competitive. All this while fulfilling the surface quality requirements from automotive manufacturers.

The increased use of recycled composite materials shows high potential, especially for their versatility. They offer weight reduction possibilities without the disadvantage of the high costs of virgin materials. As shown in the article, it is indeed possible to obtain lighter components by simply adding a small percentage of carbon fibers. Moreover, the equipment used for production is currently commercially available and used for pure plastic or glass-fiber-based composites. Consequently, the introduction of this type of materials into the market would not require any major initial investment by manufacturers.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: Schematical representation of the life cycle for composites materials [2]

Fig.2: Schematic representation of the thermoforming – overmolding process

Fig.3: Three-point bending tests results

Fig.4: Microsection showing the foam-like structure inside the material [4]

Fig.5: rCF-PA6 sample painted in glossy black

Progetto CosiMo

Strategie per ridurre i costi di componenti in composito per il settore automotive grazie al T-RTM

Mentre il settore automobilistico incrementa la produzione di veicoli elettrici a batteria (BEV, battery electric vehicles) a livello globale, ci si aspetta che i compositi giochino un ruolo sempre più importante nella riduzione del peso a vuoto di auto e camion, contribuendo a bilanciare la massa dei pacchi batteria e ad estendere la capacità di percorrenza per carica. Tuttavia, per sfruttare appieno i vantaggi dei compositi, devono essere superate sfide di processo importanti che portino a soddisfare le richieste del settore automotive in termini di velocità, qualità, costo e prestazione. Con queste premesse, nel 2018 è nata una collaborazione triennale che ha visto coinvolti 13 partner ed è stata sottoscritta dal Ministero per gli Affari Economici,

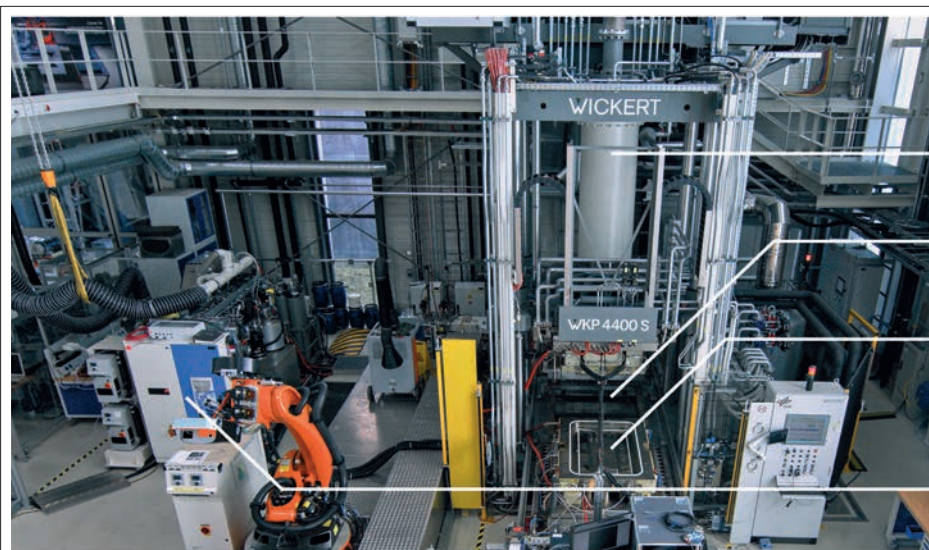
lo Sviluppo Regionale e l'Energia della Baviera. Obiettivo finale della collaborazione, valutare appunto nuovi materiali e processi produttivi a supporto della mobilità sostenibile.

Il progetto di ricerca così avviato, chiamato "CosiMo" (Composites for Sustainable Mobility), si è concentrato sullo sviluppo di un processo a singolo step per la produzione di parti *net-shaped* in composito, mediante stampaggio a trasferimento di resina termoplastica (thermoplastic resin transfer molding, T-RTM) e una pressa da formatura.

COMPETENZE CONDIVISE

I membri di CosiMo sono realtà, sia industriali sia accademiche, selezionate per le loro competenze complementari: Faurecia Clean Mobility (componenti powertrain a emissioni ridottissime),

Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG (realizzatori di modelli e stampi), Premium Aerotec (fornitore di aerostutture), KraussMaffei Technologies GmbH (attrezzature per la lavorazione della plastica), NETZSCH-Gerätebau GmbH (caratterizzazione dei materiali/monitoraggio dei processi attraverso sensori dielettrici), iba AG (sistemi di acquisizione e analisi dei dati di processo), Kuka AG (robotica e automazione di degli impianti), SGL Carbon (fibra di carbonio, grafite e prodotti compositi intermedi), DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie, Augsburg (Centro tedesco per la ricerca sull'aerospazio, l'energia e i trasporti), ESI Group (software di simulazione numerica), l'Institute of Materials Resource Management (MRM, materiali/processi per uno sviluppo tecnico-economico efficiente) dell'Università



- Hot press (DLR Augsburg)
- Open hot press with RTM mold (Siebenwurst)
- Control modules for sensor systems (NETZSCH, Uni Augsburg, DLR Augsburg)
- Injection molding machine for caprolactam (KraussMaffei Technologies)

Fig.1: SensXpert



Fig.2: Vista dello stampo CosiMo

di Augusta, l'Institute for Software & Systems Engineering (ISSE, software e ricerca per l'ingegneria dei sistemi), e l'Institute for Textile Technology (ITA Augsburg, ricerca sui tessuti).

COMPETITIVI E SOSTENIBILI

L'obiettivo del progetto è stato lo sviluppo di una combinazione materiali/processo economicamente competitiva e più sostenibile, mirata alla produzione di parti in composito per i settori automotive e aerospaziale. Come primo prodotto è stato scelto un coperchio da batteria per BEV, progettato da Faurecia e modificato dal team. Tipicamente i contenitori delle batterie elettriche (coperchi e vassoi) sono realizzati in acciaio o alluminio stampato. Pesano a vuoto 110-160 kg e sono quindi la parte più pesante di un BEV, *prima* che il pacco batteria sia installato. Per ridurre la massa e migliorare le prestazioni in caso di collisione, in alcuni veicoli vengono usati coperchi o interi involucri stampati via SMC (sheet molding compound); questo non solo riduce la massa, ma elimina la corrosione, aumenta la resistenza all'impatto e migliora la libertà di progettazione, offrendo possibilità di ridurre le tolleranze complessive per avere più volume libero per ulteriori celle o per maggiore spazio nel vano passeggeri. Tutto a costi di produzioni tipicamente confrontabili o minori a quelli attuali per i materiali metallici.

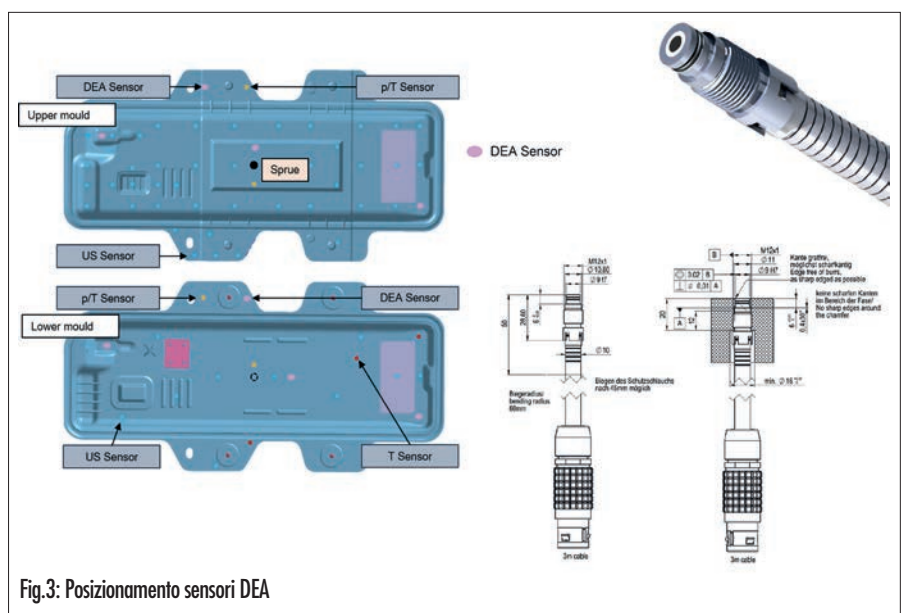
Per ridurre ulteriormente la massa e produrre coperchi più sostenibili, il team CosiMo ha scelto una matrice termoplastica riciclabile (e potenzialmente riciclata): la poliammide 6 rinforzata con fibra di vetro non tessuta (GR-PA6). Sebbene la GR-PA6 offra già molti dei vantaggi dei prodotti SMC, con una massa ancora più

ridotta e maggiore resistenza all'impatto, il suo beneficio più grande è che gli scarti di produzione e le parti obsolete ("EOL" – end of life) possono essere riciclati (rifusi) e le sotto-componenti possono essere saldate tra di loro. Tuttavia, lo svantaggio nell'utilizzare termoplastici pre-polimerizzati sta nella loro alta viscosità che rende difficile l'impregnazione delle fibre causando frazioni in peso di fibra (FWF, fiber weight fraction) minori di quelle richieste per una componente strutturale, come un coperchio di batteria, specialmente laddove siano previste sezioni a parete sottile per ridurre le tolleranze. La soluzione è polimerizzare *in situ* l' ϵ -caprolattame per ottenere la PA6. Il caprolattame ha una viscosità molto bassa a temperature superiori ai 100°C, e permette di ottenere FWF del 20-25% superiori a quelle possibili con

la PA6. La GR-PA6 è tenace, economicamente conveniente, riciclabile e ampiamente utilizzata nel settore automobilistico. Tuttavia, essendo una poliammide, è soggetta a variazioni dimensionali in presenza di umidità. Il suo processo di polimerizzazione è influenzato dalle strutture di rinforzo e il suo monomero è suscettibile di invecchiamento rapido. Tenendo conto di questi problemi, i ricercatori hanno impiegato un sistema di sensori integrati nello stampo per controllare in diretta il processo e assicurare quindi lo stampaggio di parti conformi.

Il coperchio da batteria scelto per questo progetto misura 110 x 53 cm ed è di forma quasi-bidimensionale. Poiché non sono facilmente disponibili presse a iniezione con tonnellaggio di piastra e morsetti sufficienti a produrre componenti di queste dimensioni, e considerata la geometria semplice del prodotto, il team ha optato per l'uso di una pressa a compressione che è stata combinata con un sistema RTM modificato per la polimerizzazione reattiva di una resina termoplastica. Qui la resina si comporta come un termoindurente, con impregnazione della fibra migliore ma con tempi di ciclo più lunghi, dovuti alla necessità di impregnare e di polimerizzare dentro lo stampo.

Durante il processo T-RTM, introdotto da KraussMaffei nel 2016, il mat in fibra secca è posizionato nello stampo preriscaldato a temperature che vanno da 150 a 170°C. Successivamente il caprolattame è riscaldato a 100°C in un serbatoio, mentre il catalizzatore è mantenuto a temperatura ambiente in un altro recipiente. I liquidi sono poi trasferiti



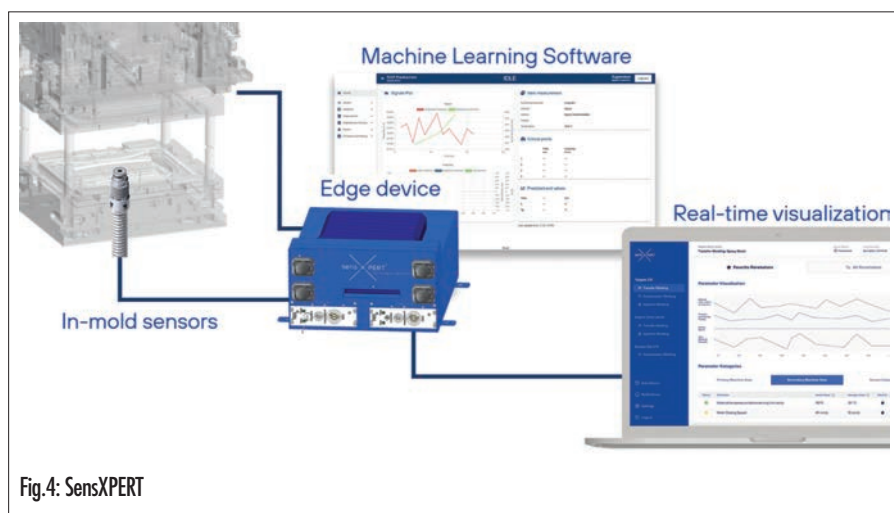


Fig.4: SensXPERT

nella speciale testa di miscelazione dove sono combinati e iniettati nello stampo intorno ai 10 bar. Le fibre sono così impregnate, il monomero polimerizza e il coperchio viene estratto nella sua forma finale. I tempi di ciclo tipici del processo T-RTM sono di 2 minuti. Tuttavia, date le grandi dimensioni della parte e la necessità di infondere la resina lentamente per evitare bolle o vuoti, in questo caso il tempo di ciclo è salito a 4.5 minuti. Per accelerare il ciclo, i ricercatori hanno considerato un pre-sizing del mat e/o l'adozione di un processo RTM ad alta pressione, sebbene quest'ultimo possa portare a bave, spostamenti della preforma in fibra, o creazione di bolle d'aria e vuoti. Nonostante questo, i cicli attuali sono più rapidi di quelli per la produzione e l'assemblaggio di più componenti metalliche stampate. Il processo T-RTM usa un sistema di controllo a circuito chiuso ed è stato progettato per l'automazione, il che è importante per sostenere i volumi di produzione richiesti dal settore automotive senza la necessità di moltiplicare presse e attrezzature per mantenere bassi i costi.

CARATTERIZZAZIONE IN TEMPO REALE

A confronto dei tessuti convenzionali, i non-tessuti si sono dimostrati difficili da impregnare completamente, con la conseguenza di avere vuoti e quindi prestazioni ridotte delle parti stampate. Per capire lo stato di impregnazione dei mat prima di innescare la polimerizzazione e per controllare efficacemente il processo così da garantire parti di alta qualità e tempi di ciclo brevi, lo stampo T-RTM, presente al DLR Center for Lightweight Production Technology (ZLP Augsburg) è stato inizialmente equipaggiato con 74 sensori: 3 di temperatura, 4 di tempera-

tura e pressione, 8 dielettrici (DEA) e 57 ultrasonici, al fine di comprendere quanto ogni tipo di sensore fosse efficace nel fornire una caratterizzazione in tempo reale dei materiali. Le parti sono state stampate con diverse impostazioni di processo e successivamente sottoposte a test fisici per valutare le prestazioni meccaniche e per verificare eventuali difetti derivanti dal processo adottato.

RISULTATI E PROSSIMI PASSI

Rispetto ai tipici sensori di sola temperatura e pressione, il ricco set di dati ottenuto da questo array di sensori, ha permesso un'analisi molto più dettagliata del comportamento dell'iniezione e della successiva polimerizzazione in relazione allo spessore, alla forma della parte e al layup della fibra. I sensori dielettrici sono risultati comunque i più accurati e capaci di fornire la più ampia gamma di dati. L'avanzamento del fronte del flusso può

invece essere tracciato da tutti i sensori, pur essendo questo il compito assegnato in primis a quelli ultrasonici. Sebbene siano stati utilizzati 8 sensori dielettrici, la ricerca ha dimostrato che ne sono necessari solo 2, indipendentemente dalle dimensioni della parte: uno all'ingresso e uno alla fine flusso. Diversamente dagli altri sensori, i dati di quelli dielettrici – che includono rilevamento del fronte del flusso, grado di polimerizzazione, temperature e pressioni nello stampo – sono stati combinati con modelli cinetici che descrivono il comportamento del materiale, creati dall'Università di Augsburg con il supporto di NETZSCH e ora inclusi nel software di machine learning di sensXPERT. Questi modelli sono stati combinati con i dati ottenuti dai sensori nella fase di produzione così da ottenere previsioni in tempo reale sul grado di polimerizzazione per diversi profili di temperatura. Le previsioni sono poi state validate confrontandole con i dati reali dei sensori. Inoltre, DLR e l'Università di Augsburg hanno utilizzato i dati per creare un modello virtuale del processo T-RTM. Questo iniziale approccio produttivo digitalizzato può essere successivamente utilizzato per creare una procedura di controllo intelligente a circuito chiuso. Gli studi attualmente in corso sono focalizzati sull'uso dei set di dati virtuali generati dal modello per predire le condizioni ottimali di processo. Inoltre, il sistema di sensori dielettrici usati in CosiMo è stato trasferito alla corporate venture NETZSCH Process Intelligence GmbH (sensXPERT), che continua a sviluppare questa tecnologia offrendola sul mercato.

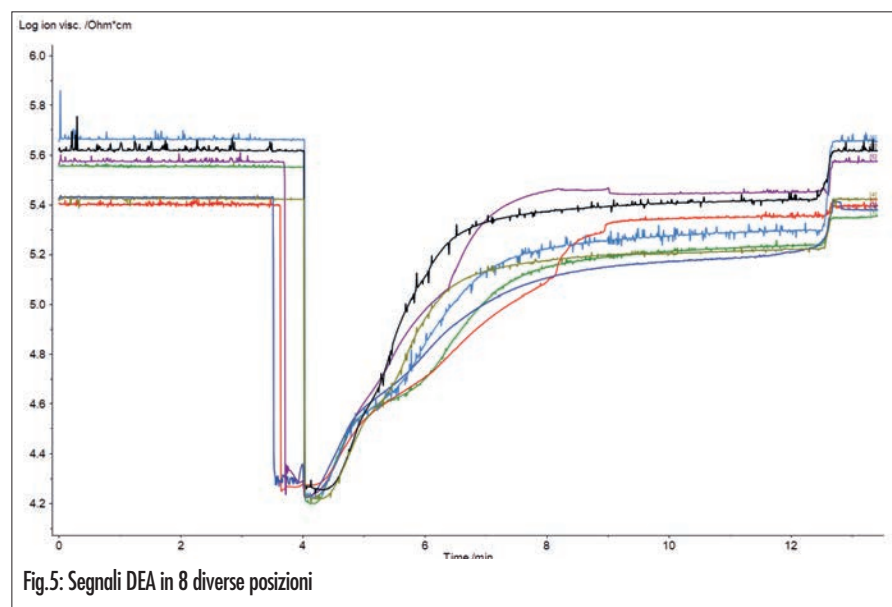


Fig.5: Segnali DEA in 8 diverse posizioni

CosiMo Project

Strategies for Lowering Automotive Composite Part Costs via Thermoplastic-RTM

As the automotive industry ramps up production of battery electric vehicles (BEVs) globally, composites are expected to play an ever more important role in reducing curb weight of cars and trucks, helping offset the high mass of battery packs and extend driving range per charge. However, to take full advantage of composite benefits, significant processing challenges must be overcome to meet the speed, quality, and cost targets that automotive demands once performance requirements are met.

Recognizing these issues, a three-year research collaboration involving 13 partners and underwritten by the Bavarian State Ministry for Economic Affairs, Regional Development and Energy was formed in 2018. The goal was to evaluate new materials and manufacturing processes to support sustainable mobility. Called CosiMo (Composites for sustainable Mobility), one project the research team explored was developing a single-step process to produce net-shaped reactively-polymerized thermoplastic composite parts using thermoplastic resin transfer molding (T-RTM) and a compression press.

POOLED EXPERTISE

CosiMo members were drawn from industry and academia and selected for their expertise. They included Faurecia Clean Mobility (ultralow-emission powertrain components), Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG (model and moldmaker), Premium Aerotec (aerostructures provider), KraussMaffei Technologies GmbH (plastic processing equipment), NETZSCH-Gerätebau GmbH (materials characterization/process monitoring via dielectric sensing systems), iba

AG (process data acquisition and analysis systems), Kuka AG (robotics and plant automation), SGL Carbon (carbon fiber, graphite, and intermediate composite products), DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie, Augsburg (German center for aerospace, energy and transportation research), ESI Group (computer simulation software), and the University of Augsburg's Institute of Materials Resource Management (MRM, materials/processes for efficient techno-economic development), Institute for Software & Systems Engineering (ISSE, software and systems engineering research), and Institute for Textile Technology (ITA Augsburg, textile research).

COMPETITIVE AND SUSTAINABLE

Project goals were to develop a cost-competitive and more sustainable materials/process combination to produce composite parts for automotive and aerospace. The part selected was a composite BEV battery cover designed by Faurecia and modified by the team. Conventional BEV battery enclosures (covers and trays) are commonly multicomponent assemblies produced in stamped steel or aluminum that weigh 110-160 kilograms empty. They have become the heaviest component on BEVs before battery packs are loaded. To reduce mass and improve crash performance, some vehicles feature covers or full enclosures in sheet molding compound (SMC), which reduces mass, eliminates corrosion, boosts impact/toughness, improves design freedom and offers parts-consolidation opportunities, enabling stack tolerances to be reduced—which frees up space either for more battery cells or for more room inside the

passenger compartment—at production costs that typically are comparable to or lower than incumbent metals.

To further reduce mass and make battery covers more sustainable, the team selected a recyclable (and potentially recycled) thermoplastic matrix (polyamide 6 reinforced with recycled fiberglass nonwovens (GR-PA6)). Although GR-PA6 offers many of the same benefits as SMC (at even greater mass reduction and higher impact strength), its biggest benefit is that production scrap and end-of-life (EOL) parts can be recycled (melt reprocessed) and subcomponents can be joined via welding. However, the disadvantage of using prepolymerized thermoplastics is that it is difficult to wetout fibers with these viscous, long-chain molecules, resulting in fiber-weight fractions (FWFs) lower than are needed in a structural battery cover, particularly when thin wall sections to reduce stack tolerances are desirable. The solution is to in situ polymerize ϵ -caprolactam into PA6. Caprolactam has very-low viscosity at temperatures above 100°C, yielding 60% FWF—20-25% higher than is common with PA6. GR-PA6 is tough, affordable, recyclable, and widely used in automotive. However, being a polyamide, it is prone to dimensional fluctuations with changing humidity. Its polymerization process is influenced by reinforcement structures and its monomer is prone to rapid aging effects. To tackle these challenges, researchers needed an in-mold sensing system to better control the process and assure acceptable parts were molded.

The battery cover selected for this project is 110 x 53 centimeters and roughly 2D in shape. Since injection presses with platens and clamp tonnage sufficient to

process a part this size are not readily available, and the geometry was simple enough to form in a compression press, the team used such a press to mold parts. This was combined with an RTM system modified to mold a reactively polymerized thermoplastic. The latter processes like a thermoset with improved fiber impregnation albeit longer cycle times owing to the need to impregnate and polymerize inside the tool.

During thermoplastic-RTM (T-RTM), which KraussMaffei introduced in 2016, the dry-fiber mat is placed in a preheated tool, whose temperature ranges from 150-170°C. Next, caprolactam in one tank is heated to 100°C while activator/catalyst is held at room temperature in another tank. Both tanks are actively conditioned (agitated) to ensure good mixing. The liquids are then transferred to the special mixing head where they are combined and injected into the tool at <10 bars. Fibers are impregnated, monomer polymerizes, and the net-shape part is ejected. Typical T-RTM cycle times are 2 minutes. However, given the large size of this part and the need to infuse more slowly to avoid air bubbles/voids in the unsized mat, infusion took longer and average button-to-button cycle times were 4.5 minutes. To speed up the cycle, researchers considered pre-sizing the mat and/or switching from conventional to high-pressure RTM although, at higher injection pressures, there is risk of flashing the mold, disturbing the fiber preform, and introducing air bubbles/voids. Still, current cycles are faster than producing and assembling multiple stamped metal components. T-RTM uses closed-loop process control and was designed for automation, which is important for supporting automotive production volumes without necessitating multiple presses and tools to keep cost down.

REAL-TIME CHARACTERIZATION

Compared with conventional textiles, the unsized nonwovens proved challenging to impregnate without dry spots, which can cause voids and reduced performance in molded parts. To understand when mats were fully impregnated prior to start of polymerization, and later to effectively control the process, assuring high part quality and short cycle times, the T-RTM mold at DLR's Center for Lightweight Production Technology (ZLP Augsburg) was instrumented. The full-size battery cover tool (with single center gate) was fitted with 74 sensors: 3 temperature, 4 temperature/pressure, 8 dielectric, and 57 ultrasonic with the goal of understanding how effective each type of sensor was at providing real-time materials characterization. Parts were molded at different process settings and subsequently physically tested to evaluate mechanical performance and check for process-induced defects.

RESULTS, NEXT STEPS

Compared with typical temperature and pressure sensors alone, data obtained from this data-rich sensor array provided a much more detailed analysis of liquid injection and polymerization behavior relative to part thickness, part shape, and fiber layup, although the dielectric sensors were found to be the most accurate and to provide the broadest range of data. While the advancing flow front could be tracked by all the sensors, that was the primary task assigned to the ultrasonic type. Although 8 dielectric sensors were used, research has shown that only 2 are needed regardless of part size—one at the gate and one at end of flow. Unlike the other sensors, dielectric data—which includes flow-front detection, degree of polymerization, plus in-mold temperatures and pressures—were combined with material models (reaction kinetic models

describing material behavior created by University of Augsburg with support from NETZSCH and now included in the machine learning software of sensXPert). These models were combined with sensor data from manufacturing to produce real-time predictions of degree of polymerization at different temperature settings. Predictions were then validated by comparing with actual sensor data. Additionally, DLR and Augsburg University used the data to virtually model the T-RTM process. This initial digitized production approach can subsequently be refined to produce closed-loop intelligent process controls for T-RTM.

Ongoing studies are focusing on using model-generated virtual data sets to predict optimum processing conditions. And the dielectric sensor solution created in CosiMo was transferred to the corporate venture NETZSCH Process Intelligence GmbH (sensXPert), which has continued to develop the technology and now offers it for commercial use.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig. 1: SensXpert

Fig. 2: Close Up CosiMo Mold

Fig. 3: DEA Sensor Positioning

Fig. 4: SensXPert

Fig. 5: DEA signal at 8 different positions

Restomod Maserati MV 3200 GTC: storia di un sogno analogico

Era il mese di Settembre 2020, quando Tomaso Trussardi, patron della famosa casa di moda italiana e grande appassionato di auto, ed Emanuele Burioni, direttore dell'azienda di promozione turistica Apt Servizi Emilia-Romagna, hanno congiunto le loro idee e i loro contatti per far nascere quello che oggi conosciamo come il progetto Restomod Maserati MV 3200 GTC, dove MV sta per Motor Valley e GTC per Gran Turismo Carbonio.

Un progetto che si propone di dare nuovo lustro a un modello della Casa del Tridente, la 3200 GT, passato in sordina negli anni della sua uscita sul mercato – tra la fine degli anni '90 e i primi anni Duemila – ma che ben si presta ad essere riscritto e reinterpretato in chiave moderna, mantenendone intatto il fascino analogico nell'era del digitale.

È stato allora che si è deciso di far collimare la passione per i motori con le eccellenze italiane, e per farlo, quale posto migliore della Motor Valley? Tomaso Trussardi, proprio tramite Emanuele Burioni, ha conosciuto Franco Bercella.

Bercella si è buttata a capofitto in questa innovazione, che ha visto come la giusta occasione anche per il debutto di una nuova tecnologia alla quale stava lavorando da tempo insieme a CMS Advanced Materials Technology, azienda italiana specializzata nel settore delle macchine utensili per la lavorazione di materiali avanzati e compositi.

L'azienda bergamasca, con il contributo di Bercella, ha sviluppato una so-



Fig.1: MV 3200 GTC



Fig.2: MV 3200 GTC in pista all'autodromo Riccardo Paletti di Varano de' Melegari



Fig.3: Paraurti posteriore

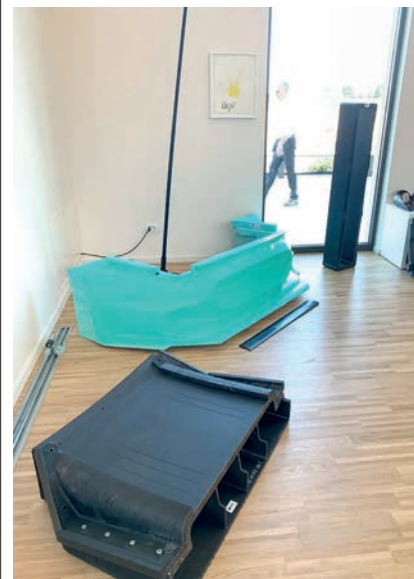


Fig.4: Paraurti

luzione LFAM (Large Format Additive Manufacturing) per incrementare la competitività nell'ambito della lavorazione dei materiali compositi. Questa attività di ricerca, durata quattro anni, è culminata nel recente lancio di CMS Kreator, una macchina ibrida per stampa 3D e fresatura dei compositi.

Questa tecnologia di Additive Manufacturing permette di fare un primo passo importante verso una tecnologia sostenibile in ottica di economia circolare per il riutilizzo del materiale, e di aumentare fortemente la flessibilità e la velocità di produzione di parti in composito. Questo è possibile grazie

ai molteplici passaggi che possono essere integrati direttamente dalla nascita dell'idea alla matematica 3D, andando subito in stampa per la creazione di modelli e stampi in poliammide caricata con fibra di carbonio al 40%. Le fasi successive vengono processate dal medesimo centro di lavoro, al quale viene cambiata la testa di stampa. Questa soluzione estremamente innovativa porta un grosso risparmio sia in termini di tempi che di costi, perché la tecnologia CMS Kreator permette di accorciare notevolmente la filiera produttiva, oltre che il processo di lavorazione in sé stesso.

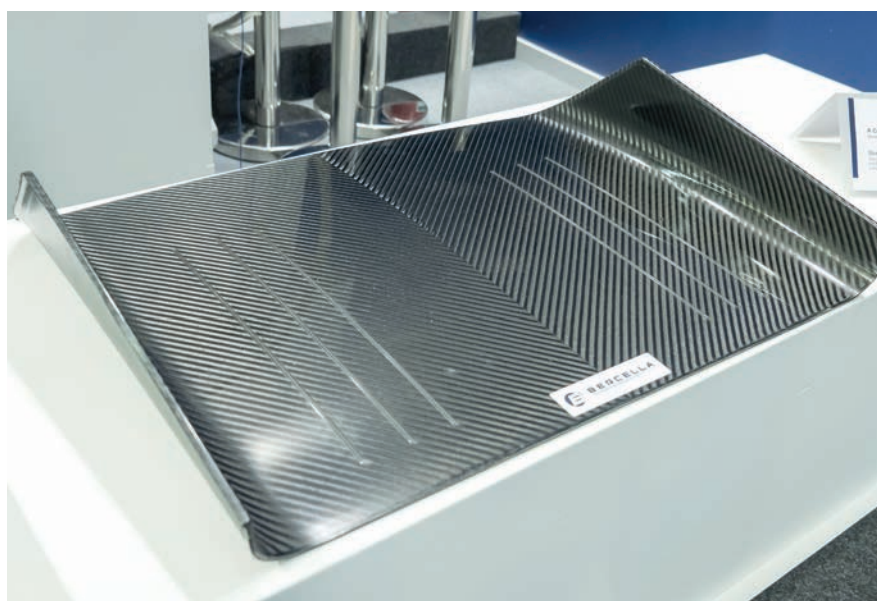


Fig.5: Diffusore

La Maserati MV 3200 GTC è stata presentata al pubblico in apertura del Motor Valley Fest 2021, il weekend principe della Terra dei Motori, nonché una vetrina internazionale fortemente voluta da Apt Servizi Emilia-Romagna per la promozione delle imprese italiane. Un progetto ambizioso che ha già visto la nascita del primo prototipo completo, per il quale saranno realizzate con questa tecnologia più della metà del totale delle parti della macchina, con l'obiettivo, in un futuro non molto lontano, di costruire un intero prototipo in fibra di carbonio utilizzando la tecnologia di CMS Kreator.

"Si tratta della prima automobile realizzata con questa tecnologia – spiega Franco Bercella, fondatore di Bercella Srl – è un momento importante, stiamo facendo il "punto zero" nel settore dei materiali compositi. L'occasione è prestigiosissima: il progetto di Tomaso Trussardi ci sta permettendo di mostrare il futuro. Da imprenditore e appassionato del settore posso dire che è un sogno che si realizza, dopo quattro anni di duro lavoro di squadra."

Tomaso Trussardi, Ambassador MVF, co-investitore e responsabile del progetto, aggiunge: *"Ringrazio tutti i Partner che si sono impegnati e spesi per il Motor Valley Fest e per il progetto Restomod. È stata una collaborazione importante che ha coinvolto direttamente le aziende, ma non solo. Grazie all'Innovation Farm di Fornovo ci è stato inoltre permesso di coinvolgere gli studenti, coloro che saranno gli specialisti tecnici del prossimo futuro. Quello che ci ha uniti tutti è stata la passione per il Made in Italy e per le eccellenze che siamo in grado di realizzare. La collaborazione fra Bercella e CMS rappresenta questo: grazie a loro il progetto Restomod è una vera rivoluzione nel settore dei compositi per il racing."*

Restomod Maserati MV 3200 GTC: the analogic dream making-of

In September 2020, Tomaso Trussardi, owner of the famous Italian fashion house and a great car enthusiast, and Emanuele Buri-
oni, director of the tourism promotion company Apt Servizi Emilia-Romagna, combined their ideas to give birth to what we know today as the Restomod Maserati MV 3200 GTC project, where MV stands for Motor Valley and GTC for Gran Turismo Carbonio.

This is a project that aims to renew a model, the 3200 GT, which did not gain much support when it had been released - between the end of the 90s and the early 2000s. Although, for this same reason, it is the perfect model to be rewritten and reinterpreted in a modern way, keeping its analogic charm in the digital age.

At this point, it was a natural choice for us, to combine the passion for engines with Italian excellence, and to do so, what better place than the Motor Valley? It was thanks to Emanuele Buri-
oni that Tomaso Trussardi met Franco Bercella.

Bercella therefore completely threw itself into this innovation, which also exploited as the right opportunity to launch a new technology on which we had been working for some time together with CMS Advanced Materials Technology, a leading Italian company in the sector of machine tooling for advanced materials and composites processing.

In fact, the Bergamo-based company, with the contribution of Bercella, has developed an LFAM (Large Format

Additive Manufacturing) solution to increase competitiveness in the processing of composite materials. This four-year research activity culminated in the recent debut of CMS Kreator, a hybrid machine for 3D printing and milling of composites.

This Additive Manufacturing technology makes it possible to take an important first step towards the sustainability of composites, improving a circular economy for the reuse of the material, and increasing the flexibility and speed of production of composite parts. This is possible thanks to the multiple steps that can be integrated directly from the birth of the idea to the 3D mathematics development, for the creation of 40% carbon fiber filled polyamide models and molds. The subsequent phases are processed by the same work center, simply changing the print head. This extremely innovative solution brings great savings both in terms of time and costs because the CMS Kreator technology allows to significantly shorten the production chain, as well as the manufacturing process itself.

The Maserati MV 3200 GTC was presented to the public during the opening of the Motor Valley Fest 2021, as well as an international showcase strongly desired by Apt Servizi Emilia-Romagna for the promotion of Italian companies.

An ambitious project, therefore, which has already seen the birth of the first complete prototype, of which more than half of the total parts are produced with this technology.

"This is the first car made with this technology - explains Franco Bercella, founder of Bercella Srl - it is an important moment, as we are making the "zero" in the composites sector. The occasion is very prestigious: Tomaso Trussardi's project is allowing us to show the future. As an entrepreneur and passionate about the sector, I can say that it is a dream that comes true, after four years of hard teamwork."

Tomaso Trussardi, MVF Ambassador, co-investor and project manager adds: *"I thank enormously all the Partners and their commitment in the Motor Valley Fest and in the Restomod project. Thanks to Innovation Farm we were also allowed to involve students, who will be the technical specialists of the near future. What united us all was the passion for Made in Italy and for the excellence that we can achieve. The collaboration between Bercella and CMS represents this: thanks to them, the Restomod project is a real revolution in the field of racing composites."*

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: MV 3200 GTC

Fig.2: MV 3200 GTC on track

Fig.3: Rear bumper

Fig.4: Bumpers

Fig.5: Air diffuser

Costruzione del supporto per sistemi airbag con la stampa 3D professionale e materiale composito

Il Centro Innovazioni della Joyson Safety Systems, azienda nota nel campo della sicurezza su strada, ha recentemente condotto un progetto per esplorare e approfondire il campo della produzione additiva, nell'ottica di scoprire nuovi processi e materiali da utilizzare nella produzione di supporti per airbag (*Airbag housing container*) e, nello specifico, per l'airbag frontale del conducente (*Driver Airbag o DAB*).

Il team di esperti ha così effettuato un'analisi di mercato al fine di individuare un materiale composito che corrispondesse al materiale utilizzato nella produzione del pezzo tramite processo convenzionale (ovvero stampaggio ad iniezione; e, come materiale, poliammide rinforzato con fibra di vetro al 40%).

Il corretto funzionamento del suppor-

to dell'airbag del conducente è fondamentale. In caso di urto il cuscino dell'airbag si gonfia ad una velocità di circa 30-50 ms (millisecondi) per evitare lesioni al conducente.

Il supporto dell'airbag del conducente mantiene in posizione tutto il dispositivo di sicurezza passivo, quindi, risulta un componente indispensabile per l'intero sistema.

SOLUZIONE

Per quanto riguarda il progetto di esplorazione e approfondimento del campo della fabbricazione additiva, il team del centro Innovazioni Joyson Safety Systems ha fissato un programma molto rigoroso, mirato al raggiungimento di obiettivi specifici, quali: produzione via fabbricazione additiva di un prototipo funzionale in pochi giorni anziché mesi, evitando così perdite di tempo e

denaro; utilizzo di materiali compositi dalle proprietà meccaniche, termiche e prestazionali simili a quelle dei materiali usati con il processo di produzione "convenzionale"; verifica delle prestazioni della parte con sistemi di collaudo reali, sottoponendo il componente a sbalzi termici e a forti sollecitazioni meccaniche.

Gli ingegneri del Centro Innovazioni Joyson Safety Systems si sono rivolti a CRP Technology e al loro servizio interno di stampa 3D con i materiali compositi Windform® TOP-LINE.

Samer Ziadeh and Daniel Alt del Centro Innovazioni Joyson Safety Systems spiegano: *"Le diverse analisi di mercato che abbiamo svolto al fine di trovare il materiale e il processo additivo più adatti a soddisfare le prestazioni richieste ci hanno indirizzato ai materiali compositi Windform® TOP-LINE di*



Fig.1: Supporto dell'airbag frontale del conducente realizzato da CRP Technology in stampa 3D e Windform® SP



Fig.2: Supporto dell'airbag frontale del conducente realizzato in stampa 3D e Windform® SP, vista interna

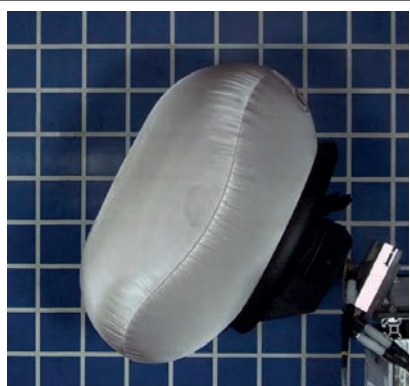


Fig.3: Test airbag. Courtesy of Joyson Safety Systems

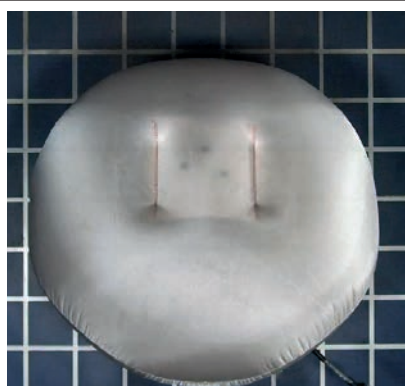


Fig.4: Test airbag. Courtesy of Joyson Safety Systems

Systems ha ricevuto in breve tempo il particolare richiesto, potendo così completare lo studio; il supporto in Windform® è stato testato in un modulo airbag completo.

RISULTATI

I test hanno evidenziato risultati molto buoni: il materiale usato per la costruzione del prototipo funzionale ha mostrato eccellenti prestazioni meccaniche in termini di elevata robustezza e resistenza agli urti, nonché una buona stabilità termica, riscontrata in una gamma di temperature variabili: 23°C, -35°C e 85°C.

Samer Ziadeh aggiunge: "il prototipo è stato sottoposto a vari test, ai quali ha sempre reagito con prestazioni eccellenti. La sua comprovata funzionalità ci sta indirizzando a considerare lo sviluppo di un nuovo prodotto".

Ziadeh e Alt si sono espressi anche sui vantaggi derivanti dall'utilizzo della stampa 3D professionale: "Il beneficio maggiore – dichiarano – riguarda la possibilità di utilizzare polimeri rinforzati dalle elevate prestazioni meccaniche. La combinazione Sinterizzazione Laser Selettiva + polimeri rinforzati consente la produzione di particolari complessi con una buona tolleranza.

Il Windform® SP ha dimostrato eccellenti proprietà meccaniche in termini di carico di rottura a trazione, elevate proprietà termiche e caratteristiche di resistenza ad alte temperature. Si tratta di caratteristiche che soddisfano appieno i requisiti dei supporti per sistemi DAB."

3D Printing Flowchart concept for Functional Prototypes

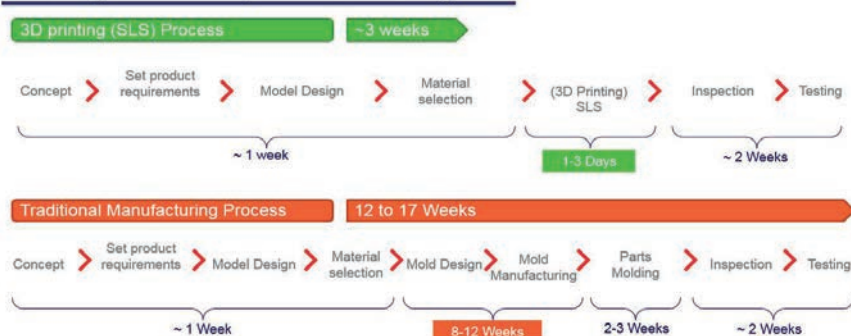


Fig.5: Diagramma di confronto tra stampa 3D e processo di produzione tradizionale. Courtesy of Joyson Safety Systems

CRP Technology e, nello specifico, verso Windform® SP."

"Windform® SP – continuano Ziadeh e Alt – non solo è un materiale composito a base poliammidica rinforzato con fibra di carbonio, ma fornisce prestazioni migliori di quelle richieste per la nostra applicazione! La sua scheda tecnica rivela un potenziale molto elevato da utilizzare nella produzione del

supporto del DAB mediante il processo di Sinterizzazione Laser Selettiva."

Dopo aver vagliato i file dell'applicazione, il Reparto di Stampa 3D della CRP Technology ha realizzato il prototipo funzionale del supporto per airbag. Grazie alla tecnologia utilizzata (sinterizzazione laser selettiva) e al materiale composito caricato fibra di carbonio Windform® SP, la Joyson Safety



Fig.6: Supporto dell'airbag frontale del conducente realizzato da CRP Technology in stampa 3D e Windform® SP

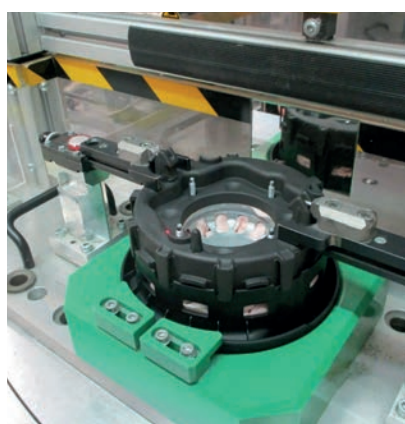


Fig.7: Assemblaggio dell'intero modulo airbag con la parte realizzata in stampa 3D e nel materiale composito Windform® SP. Courtesy Joyson Safety Systems



Fig.8: Parte finita montata sul volante. Courtesy Joyson Safety Systems

Successful use of professional 3D printing and high-performance composite material in the manufacturing of airbag housing container

Joyson Safety Systems' Core innovations team, a global leader in mobility safety, started a project to explore and deep dive into the Additive Manufacturing field, also pointing out to its possibilities and potentials to discover new processes and materials to use for the manufacturing of airbag housing container.

They thus carried out a market analysis in order to find out a composite material corresponding to the existing material (in this case, polyamide with 40% glass fiber reinforcement) used in production of the airbag housing container through conventional process (injection moulding).

The performance of the DAB housing part is extremely essential, due to the fact that it's a safety component in the vehicle. This means that the Airbag will inflate during a sudden accident within quite a short period of about 30-50 ms (millisecond) to prevent the passenger from any injuries. The DAB housing is holding the entire Airbag system in place so it is also a base essential component for the system.

SOLUTION

The Joyson Safety Systems' Core innovations team scheduled a very tight programme, aimed to reach specific purposes, that is: produce a real functional prototype part within days instead of months, out of composite materials which are almost similar in mechanical, thermal properties and performance to the original materials; test part performance under real testing environment conditions to examine how the material will perform under thermal changes and to withstand high strain mechani-

cal stresses; eliminate the amount of time-consuming and avoid the highly tooling costs of conventional process. Joyson Safety Systems' Core innovations team turn to CRP Technology for their Windform® TOP-LINE range of high performance materials and its in-house 3D printing service.

Samer Ziadeh and Daniel Alt from Joyson Safety Systems' Core innovations team add "after running some market analysis in order to find out the most suitable material and process that could deliver the required performance, we came across the Windform® TOP-LINE family of composite material and, specifically, the Windform® SP. Windform® SP brought our attention to the fact that it's a material produced from polyamide PA grades and reinforced with Carbon fiber as a powder form material, and it has almost the required and even better performance for our application."

"The technical data of the Windform® SP" - Ziadeh and Alt comment - "displayed a very high potentials to be used for producing the DAB housing by SLS process."

Thanks to the collaboration with CRP Technology and to the use of Windform® SP Carbon composite material, it was possible to produce a functional prototype and to test it in a complete airbag module within a short period.

RESULT

The test has led to very good results as the material exhibits an excellent mechanical performance in terms of high strength and impact resistance as well a good thermal stability between a low and high range of temperatures (RT; 23°C, -35°C & 85°C).

Ziadeh and Alt state "Also the prototype part demonstrated an outstanding performance during various testing conditions, which has proven the fact of part functionality for a complete consideration of a new product development. Basically the pros by using the SLS process is the possibility to use reinforced polymers with high mechanical performance and stability. The combination allow for the manufacturing of complex part structures with good tolerance. Concerning the Windform® SP, it indicates an excellent mechanical properties in terms of high tensile strength, impact resistance and thermal stability at high temperature. This actually fulfill the requirements of the DAB housing part."

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: 3D printed Driver Airbag (DAB) housing in Windform® SP manufactured via Laser Sintering process by CRP Technology

Fig.2: 3D printed Driver Airbag (DAB) housing in Windform® SP internal view

Fig.3: Airbag deployment test. Courtesy of Joyson Safety Systems

Fig.4: Airbag deployment test. Courtesy of Joyson Safety Systems

Fig.5: 3D Printing flowchart. Courtesy of Joyson Safety Systems

Fig.6: 3D printed Driver Airbag (DAB) housing in Windform® SP manufactured via Laser Sintering process by CRP Technology

Fig.7: Assembling the entire module of the airbag system using 3D printed part in Windform® SP. Courtesy Joyson Safety Systems

Fig.8: Final part mounted in the steering wheel. Courtesy Joyson Safety Systems

Tecnologie in risposta alla sfida dell'idrogeno per i serbatoi in materiale composito

Il Towpreg, il Filament winding e l'Aerosol Jet Printing

La necessità di trovare risposte concrete al cambiamento climatico in atto è legata strettamente al settore dei trasporti e in particolare al mondo stradale, con l'obiettivo di una significativa riduzione delle emissioni di CO₂. Si sta facendo strada una nuova concezione di mobilità, all'insegna della sostenibilità ambientale, che sta tenendo impegnate da tempo le case automobilistiche per identificare soluzioni sempre più ecologiche. Non solo a livello europeo, ma mondiale, esistono diverse strategie e scenari di introduzione della mobilità ad idrogeno come nuova via per la decarbonizzazione energetica. La Commissione Europea nel 2020 ha reso la produzione di idrogeno una priorità di investimento assegnando al vettore energetico un ruolo importante, fissando obiettivi ambiziosi per lo sviluppo e l'applicazione entro il 2030. A questo si aggiunge la re-

cente stretta alla commercializzazione di veicoli con motori endotermici, che prevede il 2035 come ultimo anno in cui sarà possibile commercializzarli. Per quanto riguarda il settore automobilistico, i veicoli ad idrogeno rappresentano un potenziale significativo nella decarbonizzazione del settore automobilistico, tenendo presente anche il trasporto di merci a mezzo di camion, quello ferroviario e quello su acqua. I tempi per la scelta di queste tecnologie ad idrogeno nel campo della mobilità sembrano essere maturi anche per l'Italia; infatti, molte aziende stanno investendo forze e know-how per poter ricoprire un ruolo strategico, nel cui parterre è presente la Comec Innovative.

La Comec Innovative è un'azienda specializzata nella progettazione, ingegnerizzazione e produzione di macchine e impianti per l'intero processo di trasformazione di compositi rinforzati. Esperta a livello mon-

diale nelle tecnologie innovative e customizzate per l'impregnazione, il filament winding e l'automated fiber placement (AFP). La sua storia inizia 50 anni fa con la costruzione delle prime macchine ad elevata precisione dotate di controllo numerico. Oggi, l'esperienza e l'approccio all'innovazione sono stati trasferiti nel campo dei compositi, ponendola tra i maggiori player mondiali di settore.

La divisione R&D di Comec negli anni ha sviluppato soluzioni tecnologiche, che si sono trasformate in nuovi processi pronti per il mercato e in futuri business. Gli attuali progetti sono incentrati sullo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni per la value chain dell'idrogeno. Già da diversi anni l'azienda ha creduto nelle potenzialità del vettore energetico e ha investito in attività focalizzate su soluzioni innovative di settore che oggi possono essere considerate tecnologicamente mature per il mercato. L'espansione dell'uso dell'idrogeno è una pietra miliare della transizione energetica soprattutto nella mobilità su strada. La forte accelerazione del Green Deal alle politiche europee di lotta ai cambiamenti climatici necessita di un ripensamento dell'intero paradigma energetico e lo sfruttamento di opzioni tecnologiche innovative, adatte alla decarbonizzazione dei settori cosiddetti «hard to abate». Si stima che entro il 2030 cinque milioni di veicoli dotati di celle a combustibile saranno sulle strade e dunque risulta necessario essere pronti a rispondere alla domanda relativa allo storage dell'idrogeno. La criticità principale legata allo sviluppo di una filiera per il vettore idrogeno è costituita dagli alti costi di generazione e dalla complessità dei sistemi di stoccaggio, in quanto devono garantire performance e sicurezza ad elevate pressioni (700 bar). La mancanza di una adeguata capacità tecnologica di



Fig.1: Particolare del sensore stampato su superficie realizzata in filament winding

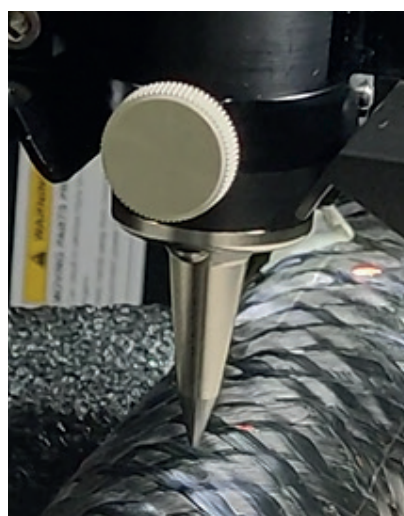


Fig.2: Particolare dell'ugello di stampa

fronteggiare questa esigenza genera altre barriere.

In questo contesto si configura Comec come produttrice di tecnologia specifica per la produzione di componenti per lo stoccaggio di idrogeno. Comec ha competenze ed esperienza necessarie per lo sviluppo e la costruzione di macchine per la produzione di tali sistemi di contenimento per veicoli commerciali e leggeri, autocarri pesanti e applicazioni industriali. Tali serbatoi sono costituiti da un liner interno in plastica con la funzione di contenimento dell'idrogeno e da un rinforzo esterno in fibra di carbonio, con lo scopo di garantire la prestazione strutturale del prodotto. L'innovazione tecnologica proposta da Comec risiede nell'utilizzo di towpreg, ovvero fibra di carbonio preimpregnata, in grado di garantire elevate proprietà al prodotto finale, un processo più pulito ed elevati volumi di produzione. Forte dell'esperienza acquisita negli anni come fornitore di macchine di impregnazione per towpreg, crede fortemente nell'evoluzione tecnologica del processo di filament winding verso soluzioni dry, utilizzando appunto towpreg, al fine di superare tutte le criticità dovute al processo wet. Tra i principali vantaggi del towpreg risiede la possibilità di una maggiore customizzazione del materiale (resina e fibra), la possibilità di lavorare su geometrie più complesse garantendo un controllo maggiore della tensione e della velocità di avvolgimento nelle zone più critiche. Nel caso specifico dell'avvolgimento della fibra di carbonio su mandrini cilindrici, la maggiore criticità è rappresentata dalla forte variazione di velocità che si verifica nella zona calotte, raggiungendo perfino valori negativi che possono rallentare l'intero processo produttivo. Con la sua soluzione, Comec Innovative vuole fornire una risposta concreta a questa variazione, garantendo la possibilità di effettuare un avvolgimento a velocità costante su tutto il manufatto. Inoltre, sempre nell'ambito dello storage dell'idrogeno, l'azienda è pioniera nell'attenzione alla sicurezza relativa ai recipienti in pressione. Uno dei progetti tra i più importanti che la divisione R&D sta conducendo è focalizzato sull'aumento del controllo strutturale dei serbatoi mediante sensorizzazione, utilizzando una tecnica innovativa di Additive Manufacturing basata sull'Aerosol Jet Printing.

La tecnologia dell'Aerosol Jet Printing basa il suo principio di funzionamento sulla deposizione tramite aerosol, sfrutta un innovativo sistema di focalizzazione aerodinamica in grado di depositare formulazioni fluide e nanomateriali, su superfici bidimensionali e tridimensiona-

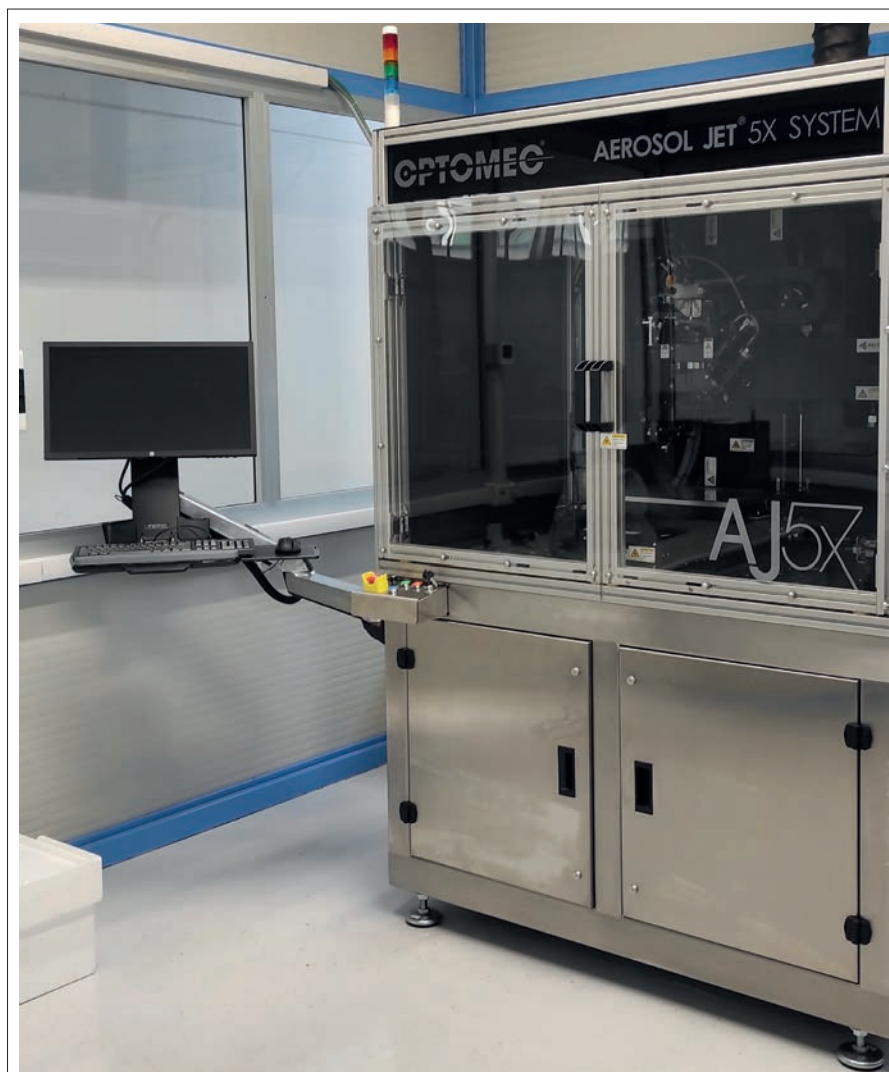


Fig.3: Macchina Aerosol Jet Printing

li. Questo permette di raggiungere prestazioni superiori a quelle dei tradizionali processi di inkjet printing e permette di stampare sensori di diversa natura grazie ad inchiostri altamente customizzabili da utilizzare su supporti di diversa natura (composito, tessile, metallo). Nell'ambito del progetto SEFIRO, finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, in partnership con l'azienda Axist - controlli dimensionali, Comec mira a definire, sviluppare e validare un dimostratore industriale per lo stoccaggio di idrogeno ad uso automotive realizzato mediante un processo di filament winding basato sul towpreg, sensorizzato e funzionalizzato con la tecnologia AJP. In collaborazione con il partner Axist Controlli Dimensionali viene effettuata la valutazione morfologica della superficie del serbatoio e successivamente, in additive manufacturing, avviene la deposizione dei sensori di monitoraggio. I sensori stampati consentono un accurato e costante monitoraggio strutturale,

al fine di aumentarne la sicurezza anche grazie allo sviluppo di una complessa architettura IoT che garantirà una condizione e un controllo delle misurazioni rilevate. Nello stabilimento Comec a Chieti Scalo, ove la tecnologia di stampa additiva è già operativa, è iniziata la sperimentazione per la deposizione dei sensori su manufatti in composito e si sta procedendo con test e campagne di prove, ottenendo i primi importanti risultati di progetto. I risultati ottenuti nell'ambito del progetto, emersi da una prima fase di sviluppo dei sensori, hanno evidenziato il potenziale e la versatilità della tecnologia Aerosol Jet Printing, mettendo in luce la possibilità di ottimizzare ulteriormente il processo di stampa e i successivi trattamenti termici al fine di sfruttare al massimo le possibilità offerte dal sistema di deposizione, nell'ottica globale della produzione di un device pronto per essere integrato all'interno di un sistema di monitoraggio ad alte prestazioni.

Technologies in response to the hydrogen challenge for composite material tanks

Towpreg, Filament winding and Aerosol Jet Printing

The necessity to find concrete answers to the on-going climate change is closely related to the transport sector and in particular to the road world, with the aim of significantly reducing CO₂ emissions. A new concept of mobility is emerging, under the banner of environmental sustainability, which has been keeping car manufacturers busy for some time to identify increasingly ecological solutions. Not only in Europe, but in the world, there are different strategies and scenarios for introducing hydrogen mobility as a new way for energy decarbonisation. The European Commission in 2020 considers hydrogen production an investment priority, it has assigned to the energy carrier an important role, setting ambitious goals for development and application by 2030. Added to this is the recent tightening on the marketing of vehicles with internal combustion engines, which foresees 2035 as the last year in which it will be possible to market them. In the automotive sector, hydrogen vehicles represent a significant potential in decarbonising the automotive sector, also taking into account the transport of goods by truck, rail and water. The times for the choice of these hydrogen technologies in the field of mobility seem to be mature for Italy as well. Many companies are investing strength and know-how to be able to play a strategic role, in which Comec Innovative is present.

Comec Innovative is a company specializing in the design, engineering and production of machines and systems for the entire transformation process of reinforced composites. It is a world leader in innovative and customized technologies for impregnation, filament winding and automated fiber placement (AFP). The history of Comec began 50 years ago with the construction of the first high precision machines equipped with numerical control. Today, the experience and approach to innovation have been transferred to the field of composites, placing it among the major world players in the sector.

Comec R&D division over the years has developed technological solutions, which have been transformed into new processes ready for the market and future businesses. Current projects focus on developing and optimizing solutions for the hydrogen value chain. For several years, the company has believed in the potential of the energy carrier and has invested in activities focused on innovative sector solutions that today can be considered technologically mature for the market. The expansion of the use of hydrogen is a milestone of the energy transition, mostly in road mobility. The strong acceleration of the Green Deal to European policies to combat climate change requires a rethinking of the entire energy paradigm and the exploitation of innovative technological

options, suitable for the decarbonisation of the so-called “hard to abate” sectors. It is estimated that by 2030 five million vehicles equipped with fuel cells will be on the roads and therefore it is necessary to be ready to answer the demand for hydrogen storage.

The most critical aspect for the development of the supply chain for the hydrogen carrier is the high generation costs and the complexity of the storage systems, as they must guarantee performance and safety at high pressures (700 bar). The lack of a specific technological capacity to face this need generates other barriers. In this context, Comec is a manufacturer of specific technology for the production of components for the storage of hydrogen.

Comec has the skills and experience necessary for the development and construction of machines for the production of such containment systems for commercial and light vehicles, heavy trucks and industrial applications. These tanks are made of an internal plastic liner with the function of containing hydrogen and an external carbon fiber reinforcement, with the aim of ensuring the structural performance of the product.

The technological innovation proposed by Comec Innovative is based on the use of towpreg, or pre-impregnated carbon fiber, capable of guaranteeing

high properties to the final product, a cleaner process and high production volumes. With the experience gained over the years as a supplier of impregnation machines for towpreg, Comec Innovative strongly believes in the technological evolution of the filament winding process towards dry solutions, using towpreg, in order to overcome all the criticalities due to the wet process. Among the main advantages of towpreg there is the possibility of greater customization of the material (resin and fiber), the possibility of working on more complex geometries, guaranteeing greater control of the tension and winding speed in the most critical areas. In the specific case of winding carbon fiber on cylindrical spindles, the most critical aspect is represented by the strong speed variation that occurs in the dome area, even reaching negative values that can slow down the entire production process. With its solution, Comec Innovative wants to provide a concrete answer to this variation, guaranteeing the possibility of winding at a constant speed on the whole product. Furthermore, again in the field of hydrogen storage, Comec is a pioneer in the attention to safety relating to pressure vessels.

One of the most important projects for the R&D division is focused on increasing the structural control of the tanks through sensorization, using an innova-

tive Additive Manufacturing technique based on Aerosol Jet Printing. Aerosol Jet Printing technology bases its operating principle on aerosol deposition, uses an innovative aerodynamic focusing system to deposit fluid formulations and nanomaterials on two-dimensional and three-dimensional surfaces.

This allows to reach performances superior to those of traditional inkjet printing processes and allows to print sensors of different nature thanks to customizable inks to be used on supports of different nature (composite, textile, metal).

As part of the SEFIRO project, funded by the Ministry of Economic Development, in partnership with the company Axist - Dimensional Controls, Comec aims to define, develop and validate an industrial demonstrator for the storage of hydrogen for automotive use made through a filament winding process, based on towpreg, sensorized and functionalized with AJP technology. In collaboration with the partner AXIST Dimensional Controls, the morphological evaluation of the surface of the tank will be carried out and subsequently, in additive manufacturing, the deposition of the monitoring sensors will take place.

The printed sensors will allow accurate and constant structural monitoring of the vessels, to increase their safety also thanks to the development of a

complex IoT architecture that will guarantee sharing and monitoring of the measurements.

At the Comec plant in Chieti Scalo, the additive printing technology is operational and the first experimental testing campaign has been carried out for the deposition of AJP sensors on composite products, obtaining the first important results of the projects. The results obtained within the project, which emerged from a first phase of sensor development, highlighted the potential and versatility of Aerosol Jet Printing technology, highlighting the possibility of further optimizing the printing process and subsequent heat treatments to make the most of the possibilities of the deposition system, in the global perspective of the production of a device ready to be integrated into a high-performance monitoring system.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: Detail of the sensor printed on the surface made in the winding of the filament

Fig.2: Detail of the print nozzle

Fig.3: Aerosol Jet Printing machine

Un processo ibrido in evoluzione per produrre economici componenti strutturali in composito termoplastico per la motoristica sportiva

Il settore automobilistico è noto per essere molto sensibile ai costi. Per essere preso in considerazione, un materiale o processo deve non solo produrre componenti che soddisfino o superino le specifiche di performance attuali – preferibilmente con peso minore e con vantaggi funzionali aggiuntivi – ma deve anche non modificare il processo di produzione negli impianti

di assemblaggio di parti OEM. Inoltre, dovrebbe essere di costo pari o minore rispetto alle tecnologie affermate, quale che sia volume di produzione della struttura automobilistica di riferimento. Ciò è valido anche nel segmento degli sport motoristici, incluse auto da pista, supercar e moto ad alte prestazioni, così come lo è per i veicoli commerciali. I compositi termoplastici rinforzati con

fibra continua sono buoni materiali per i segmenti del trasporto via terra, in quanto offrono una riduzione del peso sia rispetto ai metalli che ai compositi termoindurenti, eccellenti proprietà estetiche delle superfici, alta resistenza all'impatto, buona resistenza agli agenti atmosferici, eccellente rigidità, anche torsionale, e inoltre gli scarti e le parti a fine vita sono completamente riciclabili. Tuttavia i costi significativi di lavorazione spesso rendono difficile giustificare l'uso di questi materiali in piani di produzione con volumi minori, a meno che non ci siano altre possibilità. Questa situazione sta cambiando grazie a un processo ibrido di stampaggio/manifattura additiva chiamato additive fusion technology (AFT), che può realizzare parti in composito termoplastico strutturale rapidamente ed economicamente per essere affrontabile con volumi di produzione medio-bassi. Questo processo, esistente da circa due anni, si sta evolvendo e offre ora nuovi metodi per aggiungere funzionalità nonché possibilità estetiche superficiali uniche. Verranno discussi vari componenti realizzati in progetti dimostrativi.

IL MEGLIO DELLA MANIFATTURA ADDITIVA E SOTTRATTIVA

L'AFT è stato sviluppato dall'azienda di Zurigo 9T Labs AG. Esso combina l'imbattibile flessibilità di design e la libertà di layout della fibra della stampa 3D con polimeri con una pressa compatta equipaggiata con uno stampo a due metà metalliche abbinato che riscalda, consolida e forma parti strutturali in composito termoplastico con finiture superficiali eccellenti.

Il processo utilizza tre tipi di materiale in due forme:





Fig.2



Fig.3

- Piatta: nastri in termoplastico fibrorinforzato che possono essere depositati quasi con qualsiasi angolo rispetto agli assi X e Y.
- Circolare: monofilamento termoplastico semplice (non rinforzato) per riempimento di zone in cui il rinforzo non è richiesto, così da ridurre il costo e la massa del componente, oppure filamenti termoplastici rinforzati con fibra discontinua, per riempire geometrie complesse, riducendo l'anisotropia, e dove è richiesta una rigidità intermedia.

Una certa parte può combinare nastro + resina semplice o nastro + materiale in fibra tritata, purché ci sia il giusto abbinamento con la matrice polimerica. L'offerta attuale include PEKK, PEEK, PA 12, PPS, e PA 11 a base biologica. Oltre alla resina semplice, rinforzi in fibra continua e

discontinua di carbonio, basalto e vetro sono disponibili per personalizzare il rapporto costo/prestazioni.

Il processo base consiste di tre elementi:

- Suite di progettazione Fibrify: un software dedicato importa i modelli CAD e permette agli analisti di definire layout con rinforzo continuo o discontinuo oppure con monofilamento semplice all'interno delle specifiche di progetto, di verificare la stampabilità, quindi di creare la mesh ed esportare le opzioni nel software di analisi strutturale per la valutazione delle prestazioni meccaniche e selezionare il miglior design.
- Modulo Build: una stampante 3D utilizzata per realizzare, tramite un processo additivo, preforme di forma esatta utilizzando i design sviluppati in Fibrify.
- Modulo Fusion: pressa compatta che riscalda, consolida e forma preforme a

partire dal Build Module ottenendo parti strutturali finite in composito con frazioni volumetriche di fibra fino al 60%, pochissimi vuoti, basso volume di scarti, e una gamma di opzioni di finitura superficiale su entrambe le facce. Questo è anche un passaggio chiave nella riduzione degli sforzi residui risultanti dal processo di stampa 3D.

I passaggi automatizzati di stampa 3D e stampaggio del processo AFT offrono un metodo veloce, ripetibile, tracciabile e conveniente per produrre parti strutturali in composito termoplastico con scarti molto ridotti. Studi hanno dimostrato che i costi sono tipicamente più bassi di quelli di parti metalliche di prestazioni confrontabili – siano esse stampate, lavorate a macchina, o stampate 3D – e si ha a disposizione una maggior capacità di personalizzare il layout delle fibre e ottenere design unici rispetto a quanto sia possibile con le tecnologie convenzionali per i compositi. Le dimensioni attualmente raggiungibili sono di 350 x 270 x 250 mm. Le parti prodotte tramite AFT sono attualmente in uso o in fase di valutazione in mercati quali aeronautica e aerospazio, articoli sportivi ad alte prestazioni, sport motoristici, difesa, industria, dispositivi medici e beni di consumo di lusso.

OPZIONI AGGIUNTIVE DI PROCESSO

Nell'avanzamento del processo AFT, le sue preforme vengono combinate, manipolate e arricchite in diversi modi per aggiungere funzionalità, modificare l'aspetto della superficie, aumentare la libertà di design e ridurre le lavorazioni di finitura dopo lo stampaggio. Per esempio, quando le preforme vengono caricate nel Fusion module si può aggiungere una varietà di dettagli metallici. Poiché il polimero è riscaldato al di sopra della sua temperatura di fusione durante la fase di riscaldamento/consolidamento, esso scorrerà intorno agli inserti metallici e formerà un legame forte, unendo composito e metallo durante le fasi di formatura e raffreddamento (i problemi di corrosione galvanica sono alleviati con la fibra di carbonio grazie all'uso di superfici ricche di fibra o scegliendo parti metalliche rivestite). Questa tecnica aiuta anche a trasferire i carichi dalle fibre in un piano a quello in un altro.

Lo stesso processo di "saldatura" può essere utilizzato per applicare layer con funzioni estetiche – come film polimerici trasparenti o colorati, tessuti, fogli metallici, e altro ancora – a quella che diventerà la faccia della preforma, così da giungere a caratteristiche estetiche uniche che imitano il legno burlato,

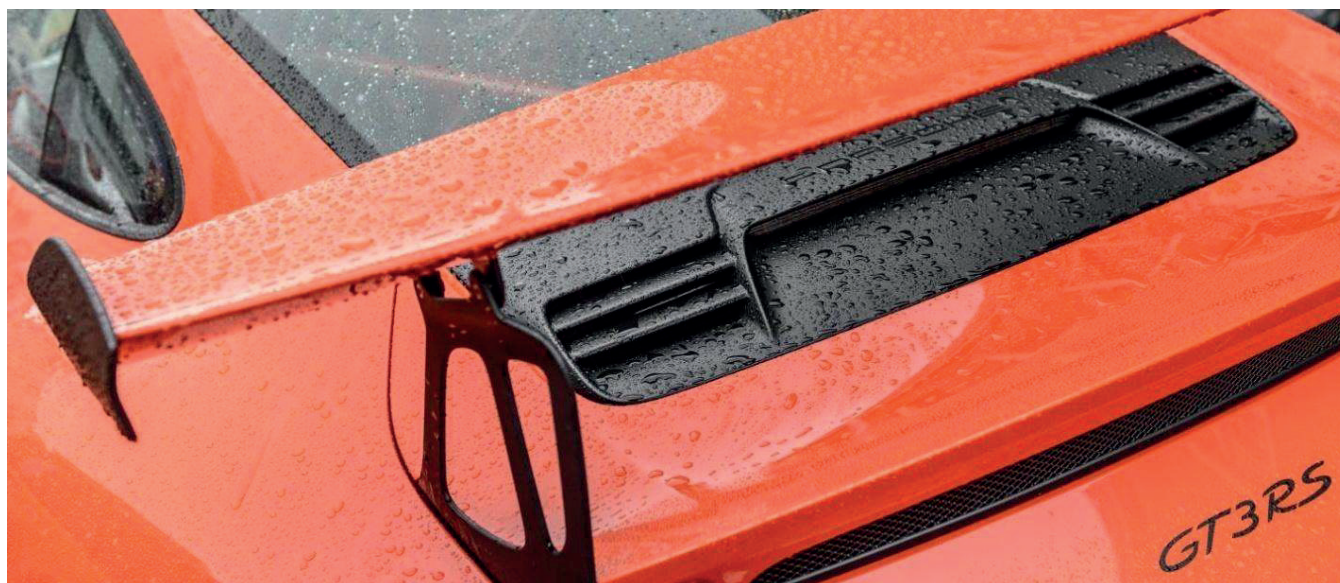


Fig.4

le xilografie giapponesi e la foglia d'oro. Un altro uso ancora per questa capacità di saldatura è la possibilità di stampare varie preforme in un piano, poi piegarle in un altro piano prima di impilarle nella pressa e fondere insieme dei sottoinsiemi durante i passaggi di consolidamento/formatura. Ciò permette di ottenere un'orientazione della fibra su tutti e tre gli assi, ed elimina anche la necessità di aggiungere costosi passaggi di lavorazione degli stampi per parti con una geometria fuori piano da imbutire. Inoltre, si può stampare una quantità di preforme sottili, per poi impilarle in diverse orientazioni e stamparle insieme, ottenendo ancora una volta una libertà di orientazione della fibra maggiore di quella ottenibile anche con la stampa 3D. Poiché il passaggio della fusione è più veloce di quello di stampa, ciò permette alle parti di essere prodotte più rapidamente e con minor costo. Un altro beneficio ancora di questo approccio è che ogni stress residuo creato durante la fase di build è smorzato grazie al preciso controllo di temperatura e pressione durante la fase di fusione, riducendo e ridistribuendo gli sforzi che altrimenti potrebbero causare deformazioni o crepe.

Infine, le preforme o le parti stampate nel processo AFT possono essere collocate in macchine a compressione o iniezione convenzionali, ed essere stampate simultaneamente insieme ad altri compositi (per esempio organosheet, prepreg, veli, tele, film decorativi, tessuti o metalli) o sovrastampate o stampate a controiniezione con composti plastici compatibili. L'AFT permette di produrre parti con funzionalità e geometria uniche

in modo economicamente conveniente, come mostrano gli esempi seguenti.

BILANCIERE PER SOSPENSIONE

Un buon esempio della versatilità del processo AFT è il suo uso in un progetto di ricerca per realizzare bilanciери per sospensioni posteriori di una motocicletta ad alte prestazioni. Il materiale di benchmark era alluminio fuso e lavorato, prodotto in volumi di 8000 pezzi all'anno (con due pezzi per veicolo). Il processo AFT è stato utilizzato per produrre il bilanciере in composito con uso sia di nastri in fibra di carbonio continua che filamenti di fibra di carbonio tritata (frazione in volume totale di fibra ~45%) in una matrice di PEKK, selezionata per la sua grande resistenza termica e chimica, necessaria data la posizione sulla ruota posteriore. Ogni bilanciере è stato stampato in sottoinsiemi di più pezzi, che sono stati piegati e collocati nello stampo insieme a 3 inserti metallici prima del consolidamento/stampaggio in un singolo assemblato. Le parti risultanti sono valutate come economicamente competitive con il benchmark in alluminio, ma pesano il 37% in meno. I risultati delle simulazioni indicano prestazioni confrontabili o superiori, sebbene ciò debba essere confermato da test reali.

Vi è inoltre un altro studio di ambito motociclistico che mira a valutare l'AFT per la produzione di leve del freno installate sul manubrio per il controllo della frenata.

MONTANTE DI SPOILER

Un'altra applicazione attualmente in corso di valutazione presso vari produttori automobilistici è l'uso del processo AFT per realizzare supporti o montanti per spoiler

(i bracci verticali che uniscono lo spoiler orizzontale al tettuccio posteriore di un'auto sportiva). Per veicoli di alta categoria, auto da corsa e supercar con volumi di produzione da bassi a moderati, la proiezione per il processo AFT è di essere economicamente competitivo con l'alluminio, riducendo al contempo la massa e migliorando l'estetica.

I montanti sperimentano grandi carichi durante l'accelerazione del veicolo, perché stabilizzano lo spoiler e assicurano che esso mantenga il posteriore dell'auto schiacciato sulla strada così da migliorare sia la trazione che la stabilità dello sterzo. Perciò sono stampati come strutture piene (non cave). Tuttavia, la stampa 3D fornisce la possibilità di incorporare strutture a filigrana (reticoli macroscopici) che riducono la massa e il costo e offrono proprietà estetiche uniche. Non solo l'AFT offre una maggior flessibilità di design che non l'alluminio, ma c'è anche un interesse nell'uso di materiali maggiormente sostenibili che tuttavia soddisfino i requisiti di performance. Per esempio, una possibilità è l'uso del PA 11, il cui monomero è derivato dai semi di ricino, una coltura non alimentare che cresce nei terreni più poveri, incapaci di sostenere colture per alimentazione umana o animale. I semi di ricino non solo catturano gas serra durante il loro ciclo di crescita, ma forniscono anche un profitto aggiuntivo per gli agricoltori senza richiedere di lavorare la foresta pluviale o utilizzare terreno arabile che può essere sfruttato più produttivamente.

Altre applicazioni automobilistiche dell'AFT attualmente in corso di valutazione presso vari produttori di OEM comprendono carini per portiere.

Evolving Hybrid Process Expands Design Options for Affordable Structural Thermoplastic Composite Parts for Motorsports

The automotive industry is known for being very cost sensitive. To be considered, a material/process must not only produce parts that meet or exceed existing performance specifications - preferably at lower weight with added functional benefits - but it also must not change the build process at OEM assembly plants. Furthermore, it should be cost neutral or lower cost than incumbent technology at whatever production volume a given vehicle platform is being produced. This is also true in the motorsport segment, including track cars, supercars, and performance motorcycles, as well as for commercial vehicles.

Continuous fibre-reinforced thermoplastic composites are good materials for ground transportation segments, as they offer weight reduction versus both metals and thermoset composites, excellent surface aesthetics, high impact strength, good weatherability, excellent stiffness and torsional rigidity, plus scrap and end-of-life parts are fully recyclable. However, hard tooling and processing costs often make it difficult to justify these materials on lower volume programs unless nothing else will work. That is changing due to a hybrid 3D-printing/moulding process called additive fusion technology

(AFT), which can produce structural thermoplastic composite parts rapidly and cost-effectively enough to be affordable for low-to-medium volume production. The 2-year-old process is evolving and now offers additional methods for adding functionality as well as unique surface aesthetics. Several parts in demonstrator projects will be discussed.

BEST OF ADDITIVE, SUBTRACTIVE MANUFACTURING

AFT was developed by Zürich-based 9T Labs AG. It combines the unrivaled design flexibility and fibre-layup freedom of polymer 3D printing with a compact compression press fitted with a matched metal mold that heats, consolidates, and forms structural thermoplastic composite parts with excellent surface finishes.

The process uses three types of material in two forms:

- Flat: continuous fibre-reinforced thermoplastic tapes that can be deposited at nearly any angle in the X and Y axes.
- Round: either neat (unreinforced) thermoplastic monofilament for infilling areas where reinforcement is not required, reducing part cost and mass or discontinuous-fibre-reinforced thermoplastic filaments for

filling complex geometries, reducing anisotropy, and where intermediate stiffness is required.

A given part may combine either tape + neat resin or tape + chopped fibre material as long as polymer matrices are matched. Current offerings include PEKK, PEEK, PA 12, PPS, and bi-based PA 11. In addition to neat resin, continuous and discontinuous carbon, basalt, and glass fibre reinforcements are available to tailor the cost/performance ratio.

The basic process consists of three elements:

- Fibrify design suite: custom software imports CAD models and permits analysts to define continuous as well as discontinuous fibre reinforcement or neat monofilament layouts within the design envelope, check for printability, then mesh and export options into structural analysis software for mechanical performance evaluation and to select the best design.
- Build module: 3D printer used to additively manufacture net-shape preforms using designs developed in Fibrify.
- Fusion module: compact compression press that heats, consolidates, and shapes preforms from Build Module into finished structural

composite parts with up to 60% fibre-volume fractions (FVFs), very few voids, low scrap, and a range of surface finish options on both A and B sides. This step also is key to reducing residual stresses from the 3D printing process.

AFT's automated printing and moulding steps offer a fast, repeatable, traceable, and affordable method for producing structural thermoplastic composite parts with very low waste. Studies have shown that costs are typically lower than those of comparably performing metals - whether stamped, machined, or 3D printed - and it offers greater ability to tailor fibre layout and achieve unique designs than is possible with conventional composites technologies. The current print and moulding envelopes are 350 x 270 x 250 mm. Parts produced via AFT are currently being used or evaluated in the aviation/aerospace, performance sporting goods, motorsports, defense, industrial, medical device, and luxury consumer goods markets.

ADDITIONAL PROCESS OPTIONS

As the AFT process evolves, its preforms are being combined, manipulated, and enhanced in different ways to add functionality, modify surface aesthetics, increase design freedom, and reduce post-mold finishing. For example, when loading preforms into the Fusion module, a variety of metallic hardware can be added. Since polymer is warmed above its melting point during heating/consolidation, it will flow around the metal inserts and form a strong bond, fusing composite and metal during forming and cooling steps. (Galvanic corrosion concerns are alleviated with carbon fibre by using resin-rich surfaces or by selecting coated metallic hardware.) This technique also helps transfer loads from fibres in one plane to fibres in another.

This same "welding" process can be used to apply aesthetic layers - such as clear or colored polymer films, colored fibres, fabrics, metallic foils, and more - to what will become the face of the preform, leading to unique surface aesthetics that mimic burl wood, Japanese woodblock prints, and gold leaf.

Still another use for this welding feature

is the ability to print several preforms in one plane, then bend each of them into another plane prior to stacking them in the press and fusing subassemblies together during consolidation/forming steps. This enables fibre orientations in all three axes to be achieved. It also eliminates the need to add costly tooling action to molds to eject parts with geometry that is out-of-plane to die draw. Additionally, a number of thin preforms can be printed, then stacked in different orientations and co-moulded, again achieving greater fibre orientation freedom than can be achieved even in 3D printing. Since the fusion step is faster than the build (printing) step, this enables parts to be produced more rapidly at less cost. Still another benefit of this approach is that any residual stresses created during the build step are alleviated due to precise temperature and pressure control during the fusion step, lowering/redistributing stresses that otherwise might cause warpage or cracking.

Finally, preforms or molded parts from the AFT step can be placed in conventional compression or injection presses and co-moulded with other composites (e.g., organosheet, prepreg, veils, scrim, decorative films, fabrics, or metals) or overmoulded or back-injection molded with compatible plastic compounds. AFT enables parts with unique functionality and geometry to be produced affordably as the following examples show.

SUSPENSION ROCKER ARM

A good example of the versatility of the AFT process is its use in a research project to produce rear-suspension rocker arms for a performance motorcycle. The benchmark material was cast and machined aluminum produced in volumes of 8,000 pieces per year (2 pieces/vehicle).

The AFT process was used to produce the rocker arm in composite featuring both continuous carbon fibre tapes and chopped carbon fibre filaments (total FVF ~45%) with a matrix of PEKK, selected for its high heat and chemical resistance owing to its position on the rear wheel. Each arm was printed as multipiece subassemblies, which were bent and placed in the tool along with

3 metal inserts before consolidation/moulding into a single-piece assembly. The resulting parts are projected to be cost-competitive with benchmark aluminum but weigh 37% less. Simulation results indicate comparable or superior performance, although this must be confirmed via physical testing.

Additionally, another motorcycle study is about evaluating AFT to produce brake levers that are mounted to the handlebars to control braking.

SPOILER STANCHION

Another application currently under evaluation with several automakers is the use of the AFT process to produce spoiler/rear fin stabilizer supports or stanchions (the vertical "legs" that join a horizontal spoiler to the rear decklid of a performance car). For premium vehicles, track cars, and supercars with low-to-moderate production volumes, the AFT process is projected to be cost competitive with aluminum while reducing mass and improving aesthetics.

The stanchions experience high loads during vehicle acceleration, since they stabilize the spoiler and assure it holds the rear of the car down on the road to improve both traction and steering stability. Hence, they are printed as solid (not hollow) structures. However, 3D printing provides the opportunity to incorporate filagree/filagrane (macro-scale lattice) designs that reduce mass and cost and provide unique aesthetics. Not only does AFT offer greater design flexibility than aluminum, but parts are typically much lighter. While stanchions can be produced in carbon composites, there also is interest in using materials with greater sustainability that still meets performance requirements. For example one option is to use PA 11, whose monomer is derived from castor beans, a non-food crop that grows in the poorest of soils incapable of supporting either human or animal crops. Castor beans not only sequester greenhouse gases during their growth cycle, but they provide an additional cash crop for poor farmers without needing to plow under rainforest or use arable soil that can be used more productively. Additional automotive AFT applications currently under evaluation at several OEMs include door hinges.