

Compositi *Cradle-to-Cradle*: prepregs per il settore automotive

Le attuali normative sul contenimento progressivo delle emissioni costringono i produttori di auto a cercare di alleggerire le parti strutturali, mediante la sostituzione dei metalli con materiali fibro-rinforzati a matrice polimerica. Un uso esteso di questi materiali anche nei veicoli di fascia media è possibile però solo se si riuscirà a renderli riciclabili (per essere in linea con la normativa sul fine vita) e di basso costo. Al momento i compositi sono usati solo per le auto di lusso, con un impatto ambientale non ottimizzato, sia in termini di fine vita che per il problema degli sfridi di produzione generalmente stimato intorno al 30% in peso del prepreg usato. Il progetto C2CC cercherà di superare queste limitazioni impiegando una fibra diversa dal carbonio normalmente utilizzato. Verrà utilizzata una fibra minerale (derivata dal basalto) riciclabile senza degrado prestazionale. Questa fibra sarà associata a una resina termoindurente anch'essa innovativa, in quanto con un contenuto di biomassa del 30% in peso e che a fine vita può essere recuperata nella forma di un termoplastico, a seguito di un trattamento chimico di "clivaggio del reticolante", processo ottenibile a bassa T (20-80 °C) in una soluzione acquosa di acido acetico al 25%. Il polimero termoplastico che si recupera verrà ottimizzato per la produzione (via iniezione) degli interni auto mentre le fibre (rifuse e rifilate) verranno di nuovo impiegate per i componenti strutturali, secondo la logica cradle-to-cradle (riciclo per l'uso originario).

Il progetto C2CC riceverà un finanziamento di 1'137'000 € dalla EU-KIC Raw Materials (bando upscaling-KAVA 5) con dimostrazione e *upscaling* delle tecnologie fino a TRL 7. Il progetto ambisce a fornire ai produttori auto tutti gli elementi per una rapida industrializzazione, anche preoccupandosi di quantificare i vantaggi ambientali e sociali dell'innovazione, vantaggi che ci si aspetta legati all'uso di processi poco energivori e a materie prime (la fibra e la resina) già ottimizzate in termini di emissioni, di *C-footprint* ed *embodied energy*. Nella partnership, oltre a Centro Ricerche Fiat, parteciperà una PMI specializzata nella produzione di componenti in composito, con l'incarico di utilizzare i nuovi prepreg per produrre componenti che soddisfino le specifiche FCA (che si considerano rappresentative di tutti gli OEMs). Le qualificazioni verranno effet-

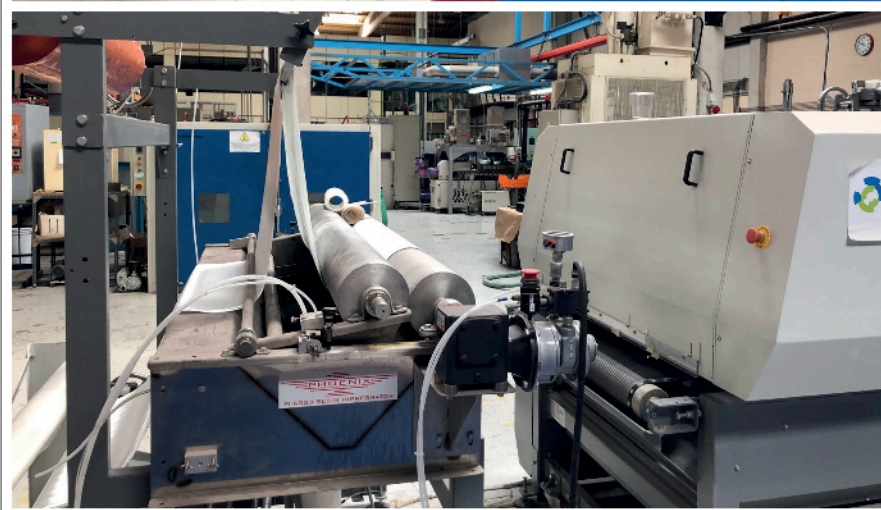


Fig. 1, 2 e 3: Linee pilota per la produzione di prepreg presenti in Gaiker (double laminator, SMC e calandra)

tuate secondo gli standard internazionali, e secondo le procedure indicate da FCA.

PARTNERSHIP E OBIETTIVI

La partnership del progetto C2CC è stata costituita in modo da perseguire l'obiettivo primario di un rapido trasferimento industriale dei risultati della ricerca:

- ENEA, Dipartimento Sostenibilità SSPT, laboratorio TEMAF, con know-how specifico sullo sviluppo di nuovi materiali compositi;
- Ferrer Dalmau/R*Concept, PMI spagnola che sviluppa e distribuisce resine per compositi a ridotto impatto ambientale;
- GS4C, PMI innovativa italiana, specializzata sul tema della riciclabilità dei compositi e sulla *open innovation*;
- GAIKER, consorzio spagnolo pubblico-privato specializzato nello sviluppo e qualificazione dei materiali compositi per il settore trasporti;
- CRF, Centro Ricerche Fiat (gruppo FCA) in rappresentanza dei produttori automotive;
- AM Composites, in rappresentanza dei produttori di componenti in composito polimerico.

Il progetto C2CC mira a dimostrare che due tecnologie sviluppate da imprese europee nei settori della nautica e dell'aerospazio sono potenzialmente in grado di consentire un cambio di passo nell'applicabilità dei materiali compositi e nelle loro prospettive di utilizzo su larga scala in campo automotive. Questi due prodotti sono:

- la fibra minerale "Filava", prodotta da una PMI innovativa belga (Isomatem [1]), sviluppata e distribuita in Italia da GS4C, che risulta riciclabile (*cradle-to-cradle*) dopo l'utilizzo. Detta fibra, certificata per l'uso in aeronautica, è prodotta da basalto di cava, attraverso un processo di arricchimento che garantisce, da un lato, la costanza delle caratteristiche meccaniche e composizionali, dall'altro, attraverso una fusione ottenuta tramite riscaldamento a induzione, la minimizzazione dei costi, dell'*Embodied Energy* e della *C-footprint*;
- una resina epossidica termoindurente con un significativo contenuto di biomassa (30% in peso) sviluppata e distribuita da una PMI spagnola, Ferrer Dalmau, al momento utilizzata prevalentemente in campo sportivo (tavole da surf) e nautico.

Il progetto C2CC punta a raggiungere il TRL 7 entro l'inizio del 2022, per poi sfruttare immediatamente i risultati della ricerca a livello industriale.

Il principale dimostratore di progetto sarà la realizzazione di un cofano auto in composito totalmente riciclabile per un modello già in produzione e nello specifico di una 500 Abarth (fig. 4). Il business plan di progetto prende in considerazione



Fig. 4 a, b: Cofano attuale in lamiera, da sostituire con corrispondente elemento in composito totalmente riciclabile

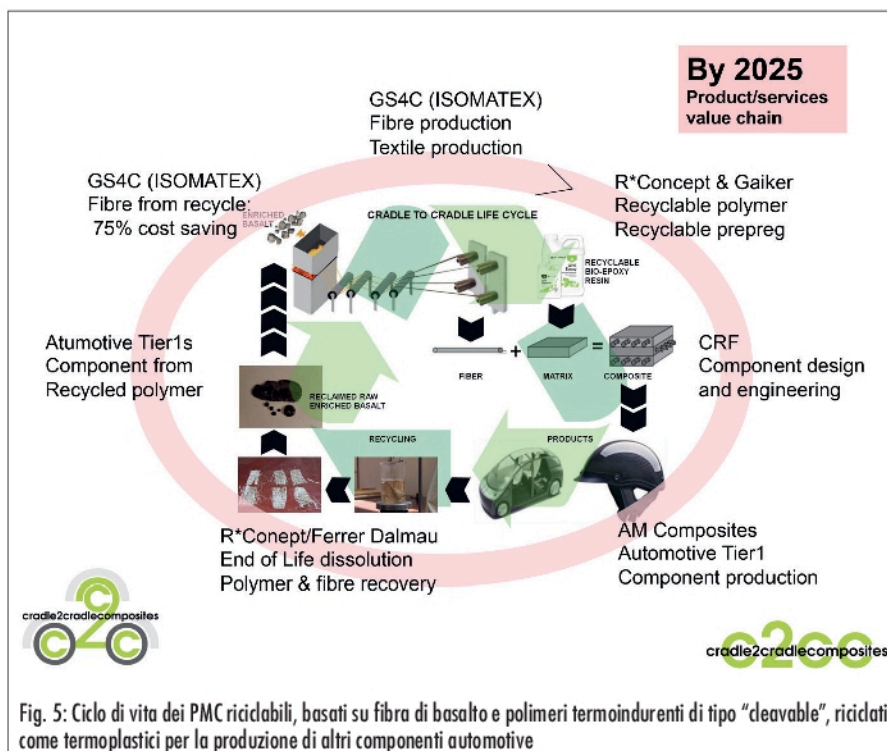


Fig. 5: Ciclo di vita dei PMC riciclabili, basati su fibra di basalto e polimeri termoindurenti di tipo "cleavable", riciclati come termoplastici per la produzione di altri componenti automotive

ne un potenziale volume di produzione di 100'000 veicoli all'anno da riciclare (*cradle-to-cradle*), secondo il ciclo schematicizzato in figura 5.

La matrice epossidica termoindurente riciclabile può essere eliminata dalla fibra attraverso un trattamento che spezza chimicamente a metà ("cleavage") la molecola aggiunta come reticolante. Dal processo, che avviene spontaneamente in acido acetico al 25% e che viene accelerato da un blando riscaldamento, (consigliabile fino a 80 °C) si recupera fibra pulita (in una forma immediatamente utilizzabile per la rifusione) e una resina termoplastica con una temperatura di transizione vetrosa che la rende utilizzabile per la produzione di componenti per interni auto. Anche se questo utilizzo secondario del polimero non può a rigore essere considerato un riciclo *cradle-to-cradle*, garantisce che la filiera automotive riutilizzi per intero le materie prime recuperate dal riciclo, senza alcun conferimento in discarica.

PREPREG RICICLABILI: SVILUPPO E VANTAGGI AMBIENTALI

Oltre a sviluppare materiali per l'alleggerimento delle auto (mobilità sostenibile), il progetto consente di chiudere il ciclo di vita dei materiali presi in considerazione, in perfetto accordo con la direttiva europea vigente 2000/53/EC, che regola il fine vita dei veicoli.

Il progetto C2CC si focalizzerà sul prepreg come semilavorato e sull'autoclave come tecnologia di termoformatura, in quanto questo corrisponde agli attuali standard produttivi per i componenti strutturali in composito, cui è necessario adeguarsi per un immediato utilizzo nel settore automotive. L'altra tecnologia di immediato interesse, specie puntando a volumi crescenti di uso di materiale, è la pressatura uniaassiale a caldo, che ha il vantaggio di minimizzare i tempi di formatura della produzione di serie.

I prepreg saranno principalmente prodotti

- Compositi Cradle-to-Cradle: prepregs per il settore automotive -



Fig. 6: Linea pilota per la produzione di prepreg a base basalto, sviluppata presso ENEA

in Gaiker, utilizzando tessuti prodotti in Filava, nello specifico i tessuti verranno forniti da GS4C mentre le resine epossidiche "biobased" e "cleavable" saranno sviluppate da R*Concept/Ferrer Dalmau. I prepregs saranno preparati principalmente in Gaiker utilizzando il "double laminator" e la macchina SMC (fig. 1 e 3) anche se altre linee verranno prese in considerazione (fig. 2 e 6). L'obiettivo finale è ottenere il giusto compromesso fra stabilità e reattività necessarie per produrre, trasportare e utilizzare il prepreg. Per ottenere questo, si dedicherà una particolare attenzione allo studio della formulazione. Le attività includeranno l'ottimizzazione di percentuale di fibra, grado di polimerizzazione della matrice (*B-stage*) e uso di additivi per favorire l'impregnazione della fibra. La matrice polimerica deve raggiungere e mantenere il giusto livello di viscosità (*B-stage*) e latenza, e richiederà anche uno stoccaggio a bassa temperatura (-20 °C). Infine, la processabilità del prepreg verrà ottimizzata utilizzando la pressatura a caldo (fig. 7) mentre lo stesso

prepreg verrà utilizzato per produrre il cofano-dimostratore nell'autoclave di AM Composites (fig. 8). Nella messa a punto del processo in autoclave, particolare attenzione dovrà essere dedicata al controllo accurato di tutti i parametri (temperatura e pressione in particolare) per caratteristiche meccaniche e finitura superficiale in conformità alle specifiche.

La possibilità del riciclo immediato degli sfridi di prepreg è fortemente desiderata da lungo tempo nel settore compositi, poiché la quantità di sfridi è tipicamente il 30% in peso del totale del prepreg utilizzato per la produzione di un componente. All'inizio saranno la sola fonte di materiale da riciclare, ma poi i componenti automotive stessi giungeranno allo smaltimento (la maggior parte entro una quindicina d'anni) permettendo il recupero completo della fibra e di tutto il polimero. C2CC studierà i reticolanti "cleavable" prodotti dalla ditta Connora, basati su tecnologia proprietaria [2] e distribuiti in Europa da R*concept/Ferrer Dalmau. Il riciclo si effettua in acido acetico 25% e richiede circa 2 ore a 80-90 °C (e un tempo più lungo a una temperatura più bassa). Dal momento che la temperatura per il processo non è stringente, sarebbe molto interessante effettuare il riscaldamento sfruttando direttamente un sistema solare a concentrazione.

Oltre a sviluppare i nuovi prepregs riciclabili e a qualificare materiali e component che soddisfino le specifiche per l'applicazione automotive, C2CC si propone di quantificare i vantaggi sociali ed ambientali dell'adozione della nuova tecnologia, tema che sarà in carico al Laboratorio "CyVi" dell'Istituto di Scienze Molecolari dell'Università di Bordeaux. Lo strumento dell'LCSA (*Life Cycle Sustainability Assessment*) è promosso dalle Nazioni Unite poiché risulta il sistema più maturo per la valutazione della sostenibilità, certamente in grado di valutare gli impatti economici, ambientali e sociali dei nuovi materiali compositi [3,4]. In ogni caso, i possibili indicatori sono diversi, cosa che rende difficile ai "decision makers" interpretare i risultati. Per questo è importante fare una scelta oculata degli indicatori ambientali e socioeconomici e dei metodi per quantificarli, ed associarli a uno studio LCA (*Life Cycle Assessment*) convenzionale, a una *Material Flow Analysis* (MFA) e alla "embodied energy evaluations" (EEE) sia dei materiali originari che di quelli recuperati. Fra i vantaggi del riciclare c'è anche il vantaggio di non avere più un rischio legato a una dipendenza troppo forte dalle materie prime. Inoltre, l'LCC (*Life Cycle Costing*) verrà usato per valutare anche gli aspetti economici del riciclo. Relativamente agli aspetti sociali, si tenterà di quantificare la possibile creazione di posti di lavoro, applicando l'approccio recentemente messo a punto dal gruppo CyVi stesso.



Fig. 7: Linea pilota di termoformatura (presente presso ENEA)



Fig. 8: Linea industriale di termoformatura in autoclave (AM Composites)

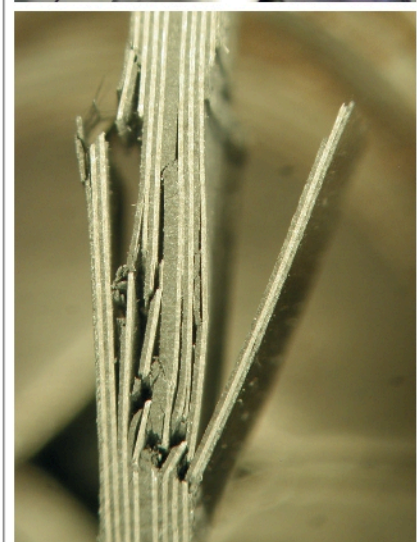
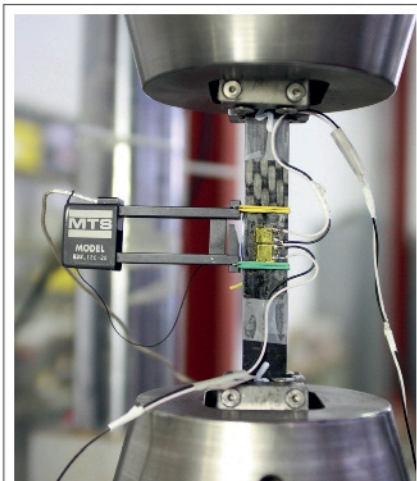


Fig. 9 e 10: prove meccaniche di trazione e compressione (ENEA)

PROVE MECCANICHE E MODELLAZIONE A ELEMENTI FINITI

ENEA si occuperà di caratterizzare i materiali in termini di proprietà meccaniche (sia i compositi riciclabili che le resine termoplastiche recuperate e processate via *injection molding*). Verranno anche effettuati invecchiamenti accelerati dei materiali, per prevenire sorprese anche da questo punto di vista. Le proprietà meccaniche del composito dipendono non solo dalla natura di fibra e matrice polimerica, ma anche (e in forma complessa) dal finissaggio, dalla tipologia e dalla grammatura del tessuto, e dai parametri di processo. Per tali motivi è indispensabile un'indagine sperimentale. Nelle figure 9 e 10 sono mostrati una prova di trazione con campione strumentato e la tipica rottura a compressione di un campione. Le resine epossidiche da biomassa procurate da Ferrer Dalmau/R*concept possono includere fino al 30% in peso di biomassa, cosa che ne migliora molto l'LCA, anche se potrebbe andare a scapito delle proprietà meccaniche, ragione per cui è necessario verificarne l'adeguatezza. Riguardo alla modellazione a elementi finiti CRF utilizzerà i pacchetti Hypermesh e Abaqus per realizzare il modello FEA della sottostruttura del cofano per la 500 Abarth, simulando il compor-



Fig. 11: Cofano da produrre in composito totalmente riciclabile, secondo la nuova tecnologia



Fig. 12: Vano portaoggetti, da produrre in injection molding, con il polimero termoplastico di recupero

tamento del componente in associazione ad alcune sollecitazioni definite dagli standard FCA, come il carico da neve, la rigidità torsionale e laterale.

Il ruolo di CRF comprenderà anche:

- valutare che le performance del cofano in composito della 500 Abarth che si andrà a realizzare soddisfino le specifiche FCA attraverso attività di *modelling* e di simulazione CAE (fig. 11 – modello FEM del cofano in questione);
- produrre un componente dell'interno auto, mediante iniezione della resina riciclata (fig. 12) caratterizzata da una TG di 84 °C come per il Nylon 6. In questo caso verranno anche effettuate prove meccaniche preliminari su provini prodotti con un sistema di microiniezione.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Nel presente articolo sono stati presentati gli obiettivi e le attività previste per il progetto EU "C2CC". Nel corso dei tre anni di attività si creeranno una base di dati ed un know-how proprietario sui seguenti argomenti: resine epossidiche "cleavable" e loro uso per produrre pre-preg; finissaggio e tessitura ottimale della fibra minerale, derivata da basalto da abbinare a tale polimero; ingegnerizzazione delle linee pilota per il riciclo; uso del termoplastico recuperato per la produzione di interni auto.

Finora la fibra Filava è stata studiata prevalentemente per applicazioni aeronautiche (in particolare come alternativa economica al vetro S, caratterizzato da proprietà meccaniche molto simili) ma il progetto C2CC dovrebbe mostrare anche

i vantaggi ambientali e la compatibilità economica di questi prodotti ad un'applicazione di massa nel settore automotive.

Hanno contribuito come autori alla presente comunicazione:

- C. Mingazzini, M. Scafè, G. Magnani, A. Rinaldi – ENEA, Italia
- E. Benco, C. Talon – GS4C srl (Italia)
- D. Pullini, M. Basso, D. Fondacaro – CRF (Italia)
- J. Ferrer Dalmau, S. Villa – Ferrer Dalmau/R*Concept (Spagna)
- G. Sonnemann, T. Maury – University of Bordeaux (Francia)
- A. Ceresani, A. Ciuffreda – AM Composites (Italia)
- J.R. Alonso, K. Gondra – Gaiker (Spagna).

BIBLIOGRAFIA

- [1] www.gs4c.com/products/filava-roving; www.isomatej.com
- [2] Stefan J. Pastine, LIANG Bo, QIN, Bing "Novel agents for reworkable epoxy resins" WO 2012/071896 A1
- [3] Gemechu, E.D., Sonnemann, G., Young, S.B., 2015. Geopolitical-related supply risk assessment as a complement to environmental impact assessment: the case of electric vehicles. *Int. J. Life Cycle Assess.* doi:10.1007/s11367-015-0917-4
- [4] Pillain, B., Viana, L.R., Lefeuvre, A., Jacquemin, L., Sonnemann, G., 2019. Social life cycle assessment framework for evaluation of potential job creation with an application in the French carbon fiber aeronautical recycling sector. *Int. J. Life Cycle Assess.* doi:10.1007/s11367-019-01593-y

Cradle-to-Cradle Composites from prepregs: recycle of both the fiber and polymer matrix



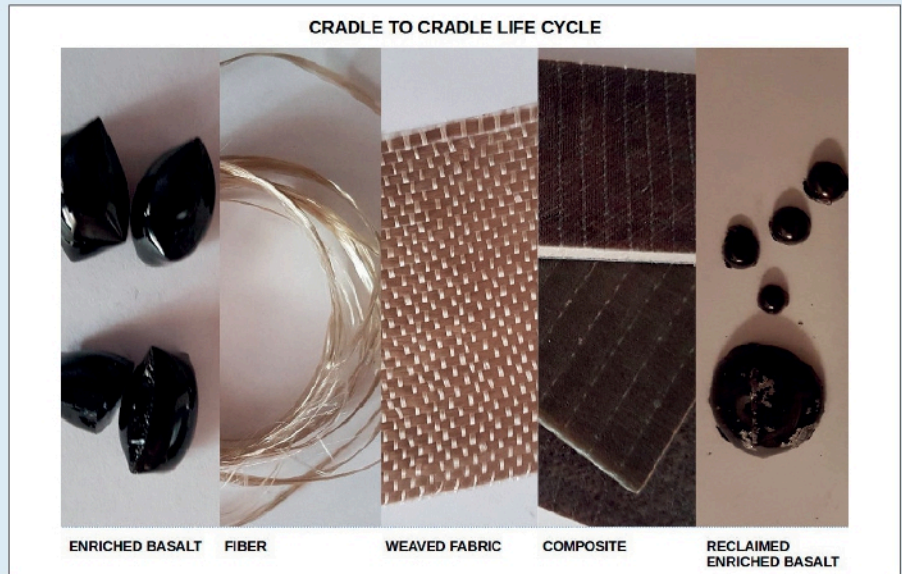
Existing CO₂ emissions regulations force car manufacturers to aim at significant weight reduction, which seems possible only through the substitution of metals (which are also critical raw materials) with polymer composite materials (PMC). These PMC however should also be recyclable, in order to be compliant with End-of-Life Vehicles (ELV) regulations and low cost, in order to be mass produced. Currently PMC are used only for luxury cars, and are not environmentally friendly, due to the significant productions of wastes during production (up to 30% by weight) and non-recyclability. On the contrary project C2CC will employ new basalt derived mineral fibres (BDMF) which are fully recyclable. They will be associated with innovative bio-mass derived thermo-set resins to produce Basalt-PMC (B-PMC) that can be chemically “cleaved” to recovery both a polymer (which will be used for producing automotive internal parts) and the fibres (which will be re-melted and re-employed for the original components).

Project C2CC is funded with 1'137'000 € by KIC Raw Materials (upscaling-KAVA 5) with activities aiming at TRL 7. The project will bring this solution on the verge of being mass produced and will assess all environmental benefits of the new solution, particularly lower embodied energy and lower C- emissions. C2CC project will demonstrate the technical feasibility of this concept on real automotive components. An automotive supplier, together with CRF (automotive research center) will respectively engineer and produce these components. Qualification will be performed to demonstrate compliance with automotive industry expectations.

PARTNERSHIP & OBJECTIVES

C2CC consortium joins companies covering the entire value chain, capable of immediately exploiting at the industrial level the research results, namely:

- ENEA, Italian National Research Agency, operating through TEMAF laboratory, with specific expertise about fiber reinforced composite materials;
- R*Concept/Ferrer Dalmau, developing and distributing cleavable bioepoxies;
- GS4C is an innovative SME with a solid



background both on recyclability issue in PMC and open innovation

- GAIKER, a specialised research body specialised on composites and prepregs development for transports
- CRF, research center of FCA group, representing the automotive end users;
- AM, FCA Tier 1, representing the components producers.

C2CC aims at demonstrating that two products, developed and produced in Europe, could be combined making possible a disruptive evolution in the automotive sector. These two products are:

- “Filava” BDMF, most promising mineral fibre for C2CC in our view, distributed and developed in Italy by GS4C [1]. This aeronautical grade BDMF is produced by a Belgian company (Isomatex SA) an SME which managed to develop and industrialise induction heating for BDMF production, and registered the trade name “Filava”;
- a biomass-derived recyclable epoxy thermoset resins, being distributed by R*Concept/Ferrer Dalmau, a Spanish SME, currently focusing on niche applications, like sport and marine.

C2CC consortium aims at TRL 7 by the beginning of 2022, and immediately go on exploiting the research results at the industrial level.

Main project demonstrator is producing a full recyclable composite car hood, specifically for the model 500 Abarth (in fig. 4 it is shown the hood made of metal). Project business plan consider a potential production of 100'000 pieces per year according to the cradle-to-cradle cycle shown in figure 5.

Recyclable epoxies can be cleaved in aqueous acetic acid 25%, recovering a thermoplastic which can be used for the injection molding of the automotive interiors. Although this is not a C2C (cradle-to-cradle) reuse, it guarantees full reuse within the automotive production itself.

RECYCLABLE PREPREGS: DEVELOPMENT AND ADVANTAGES

Besides developing low cost structural lightweight materials for future mobility, main objective of C2CC project is closing material loops, in accordance to be compliant with End-of-Life Vehicles regulations (Directive 2000/53/EC).

C2CC will focus prepreg lamination and autoclave thermocuring, since it is the current reference technique for the production of PMC for structural applications. Compression molding is also interesting, being a faster technique, and will also be considered.

Prepreg will be mainly developed in Gaiker, using the Filava fiber provided by GS4C and the biobased cleavable epoxied provided by R*Concept/Ferrer Dalmau. Prepregs will be prepared mainly by double laminator and SMC machine in Gaiker (fig. 1 and 3) although other facilities will also be considered (fig. 2 and 6). The final objective is to obtain the suitable balance of stability and reactivity which is determinant to manufacture, transport and moulding the prepreg. To achieve this technical objective, special consideration should be devoted to the formulation development. The activities to be carried will cover: the adjustment of fibre percentage, the evaluation of chemical polymerization (B-stage), and the use of additives to improve the fibre impregnation. The prepreg compound needs to reach and maintain an appropriate viscosity degree (B-stage) and latency, and this requires the prepreg to be kept in a freezer at fixed temperature (-20 °C).

Finally, the prepreg processability will be optimised using warm pressing (fig. 7) and then it will be used to produce the car hood demonstrator in AM composites facilities (fig. 8) In this part of the process, accurate control of pressure and temperature must be applied in order to obtain not only high structural quality molded parts but also, high profile surface finishing.

Prepreg scraps immediate recycling in PMC industries is a long waited technology, being the scraps normally estimated in about 30% by weight. At first, only these scraps will be available for the recycling, but in about 15 years most of the hoods would be ready for being recycled. C2CC will study the cleavable hardeners produced by Connora, based on proprietary technology [2]. and distributed in Europe by R*Concept/Ferrer Dalmau. The recycle can be performed in aqueous solution (25% acetic acid) and requires about 2 hours at 80-90°C (and a longer time at a lower temperature). Being the cleavage temperature not strict, it appears really interesting providing this heat by direct exploitation of Concentrated Solar Power (CSP).

Besides developing the new recyclable prepregs and assessing that component characteristics are in line with the automotive end-user expectations, it is important to quantify the environmental and societal performances of materials, which will be in charge of the Life Cycle Group CyVi at the Institute of Molecular Sciences, University of Bordeaux. The Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) framework as promoted by the United Nations has been identified as the most mature, available sustainability assessment method, to evaluate the environmental, economic and social aspects of the new recyclable prepregs [3,4]. However, there

are several indicator options to address each aspect of sustainability and it is not easy for decision makers to understand the results due to the use of such a wide range of indicators.

Therefore, the most relevant methods and associated indicators allowing to best quantify the environmental and socioeconomic impacts were selected: in addition to a conventional environmental Life Cycle Assessment study (LCA), Material Flow Analysis (MFA) and embodied energy evaluations (EEE) of pristine and recovered materials will be carried out. Since it is important to consider the supply risks related to the raw materials used and the benefits of recycling, a focus on criticality assessment is also envisaged regarding the sourcing of materials. Going further, Life Cycle Costing (LCC) will be performed to address the economic performance of the recycling process. Finally, to complete the social and economic aspects of the scope, the quantification of potential job creation will be studied following an approach recently adapted by the CyVi group.

MECHANICAL TESTS AND FINITE ELEMENTS MODELLING

In the project ENEA will deal with the mechanical characterisation of the materials (including both the recyclable PMC and the injection molded thermoplastics). Accelerated ageing tests in expected working environments should establish if there are some unpredictable weakness which may limit possible application. Mechanical properties depend on those of polymer and fiber, but also, in a complex way, from fiber sizing, fabric type and weight, processing and fabrication parameters, so that an experimental activity is necessary. In figures 9 and 10 a tensile test and a detail of rupture after compression test are respectively shown. Cleavable epoxies provided by R*Concept/Ferrer Dalmau will include 30w/w% of biomass: they will be the preferred material, being their LCA much more favourable, although it is necessary to verify their equivalence to conventional epoxies in term of mechanical properties.

Regarding the finite element modeling CRF will use the softwares Hypermesh and Abaqus to realize the FEA model of the Under Hood of the 500 Abarth, and will simulate the behaviour of the component in some loading case specified from FCA standards as the Snow load, torsional stiffness and lateral stiffness. The role of the CRF will be to:

- evaluate the performance of the Under Hood 500 Abarth demonstrator according to the FCA standards through a CAE modelling and simulation activity (fig. 11 – FEM model of external part of the Hood of 500 Abarth);

- build an interior vehicle component (fig. 12) with an injection molding process using the thermoplastic to be recycled (characterized by a TG higher than 84 °C for Nylon 6). In this case, preliminary standard mechanical tests will be carried out on some specimens made with a micro injection molding process.

CONCLUSIONS & PROSPECTS

In the present article, the project C2CC expected activities were introduced. During the next three years, the IP is expected to be created on: the cleavable polymers development, particularly those suitable for prepreg production; the sizing on basalt derived mineral fibers, suitable to be dissolved together with the polymer matrix; the engineering of the recycle pilot lines; the recovered thermoplastic use for the production of automotive internal components.

Up to now Filava basalt fiber has been studied for aeronautical applications (being almost equivalent to glass S but much cheaper) but project C2CC should hopefully also show the environmental advantages of its application to mass production in transports.

Authors of this communication:

- C. Mingazzini, M. Scafè, G. Magagnani, A. Rinaldi – ENEA, Italy
- E. Benco, C. Talon – GS4C (Italy)
- D. Pullini, M. Basso, D. Fondacaro - CRF (Italy)
- J. Ferrer Dalmau S. Villa – R*Concept/Ferrer Dalmau (Spain)
- G. Sonnemann, T. Maury – University of Bordeaux (France)
- A. Ceresani, A. Ciuffreda – AM composites (Italy).
- J.R. Alonso, K. Gondra – Gaiker (Spain).

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig. 1, 2 and 3: Prepreg pilot production lines in Gaiker (double laminator, SMC, and calendaring machine)

Fig. 4 a, b: Car hood, currently made of metal, to be substituted with a corresponding one in recyclable PMC

Fig. 5: Closed loop production and recycle of PMC based on basalt fabric and cleavable bioepoxies

Fig. 6: Pilot line, developed in ENEA, for the development of basalt-based innovative prepregs

Fig. 7: Warm pressing pilot line (ENEA)

Fig. 8: Industrial autoclave to be employed for the production of the hoods (AM Composites)

Fig. 9 and 10: Tensile and compression mechanical tests (ENEA)

Fig. 11: Car hood project demonstrator, to be produced in recyclable PMC

Fig. 12: Glove compartment (to be produced with recovered thermoplastics)