

# L'esperienza di IMAST

*Alcune esperienze nel settore aeronautico, maturate nell'ambito di progetti conclusi, in cui sono state sviluppate soluzioni alternative a quelle strutturali tradizionali con i materiali metallici, più vantaggiose in termini di leggerezza, smorzamento vibro-acustico ed in grado di ridurre i costi e i tempi di assemblaggio di elementi della fusoliera.*

I materiali compositi combinano fra loro, proprietà, funzioni e strutture appartenenti a materiali diversi conseguendo prestazioni superiori non raggiungibili dai singoli componenti. Inoltre, poiché determinano la nascita e l'adozione di nuovi prodotti, presuppongono una riorganizzazione ed innovazione delle fasi di progettazione, produzione e controllo. Fattori, questi, che concorrono ad innalzare il livello di competitività industriale, la loro collocazione sul mercato, e la capacità di attrarre, assorbire e formare competenze nuove e sempre più specializzate.

Da questo punto di vista è paradigmatico il percorso seguito dai materiali compositi nel settore aeronautico dove dalla combinazione di legno e tela cerata impiegata dai pionieri per la realizzazione dei primi veicoli prototipali si è passati ai metalli leggeri rinforzati e non (Al, Ti, superleghe) per poi accedere alla classe dei compositi polimerici. Tuttavia, questi materiali entrano ufficialmente nell'industria aeronautica civile nel 1981 con l'aeromobile Boeing-767. Ma la sfida più importante è stata quella del Boeing 787, che presenta il 50% della struttura primaria costituito da compositi leggeri anziché da alluminio. Tale soluzione garantisce un consumo di carburante inferiore del 20% rispetto ad aerei di stazza simile. Inoltre, la richiesta di materiali compositi in questo settore è determinata oltre che dalla loro bassa densità (leggerezza), anche dall'alta resistenza meccanica, dall'elevata rigidità rispetto al peso specifico, dall'eccellente curvabilità, dalla grande versatilità plastica e conduttività termica ed elettrica, e dall'alto gradiente di sicurezza rispetto alla corrosione. Ed è per questo che i compositi nell'aeronautica restano un fattore in continua espansione, anche perché si prevede che entro il 2025 l'attuale domanda di aerostreuture porterà ad un raddoppio della flotta di velivoli passeggeri e cargo su scala mondiale.

Agendo da knowledge integrator, IMAST, il Distretto Tecnologico sull'Ingegneria dei Materiali Compositi Poli-



Fig.1: Sezione di fusoliera del Boeing 787

merico e delle Strutture, individua attività di ricerca industriale coinvolgendo nello stesso progetto le competenze scientifiche e tecnologiche dei propri soci (grandi imprese, università e enti di ricerca), individuando e sviluppando le tematiche di rilevanza scientifica, progettando e realizzando sistemi compositi e relative tecnologie che abbiano applicazione in diversi settori industriali (aeronautico, aerospaziale, automotive, ferroviari, navale, elettronica polimerica, biomedicale, difesa).

Il settore aeronautico è coinvolto in numerosi progetti di ricerca attivati da IMAST per lo sviluppo di compositi polimerici multiprestazionali fibrorinforzati per elementi di fusoliera, adesivi e sistemi di incollaggio innovativi per elementi in metallo ed in composito polimerico, modelli di supporto alla progettazione integrata dei processi produttivi di elementi in composito idonei per applicazioni aerospaziali, procedure e sistemi polimerici innovativi per il repairing di strutture in composito e tecnologie di processo automatizzate (fiber placement e filament winding) in grado di ottimizzare i consumi di energia e ridurre gli sfidri.



Fig.2: Pannello di fusoliera di un velivolo da trasporto in composito con correnti ad "omega" e ordinate circolari con sezione a C, con incrementate proprietà vibro-acustiche, realizzato nel progetto ARCA

A titolo d'esempio, si riportano alcune esperienze condotte in progetti conclusi, in cui IMAST, anche attraverso le competenze dei propri soci, ha sviluppato soluzioni in composito per la fusoliera, con proprietà di assorbimento vibro-acustico, che si stanno applicando sui velivoli commerciali Boeing 787, la porta di emergenza di un velivolo regionale interamente in composito termoplastico (riciclabile) e nuovi adesivi strutturali in grado di ridurre i costi e i tempi di assemblaggio di elementi della fusoliera.

### PANNELLO IN COMPOSITO A INCREMENTATE PROPRIETÀ VIBRO-ACUSTICHE

Nell'ambito del progetto ARCA (Ottimizzazione della caratteristiche Acustiche di materiali Compositi per l'Aeronautica), su un'esigenza di Boeing, IMAST ha sviluppato un innovativo sistema di assorbimento acustico da inglobare nella struttura in composito, durante la laminazione della fusoliera, pensando all'applicazione su velivoli commerciali quali il Boeing 787.

Attraverso la messa a punto di un sistema di progettazione integrata è stato sviluppato un pannello in composito fibrorinforzato, contenente una lamina di materiale viscoelastico e sistemi di controllo attivo in grado di aumentare le proprietà di assorbimento vibroacustico e migliorare il comfort dei passeggeri (meno vibrazioni e meno rumore), riducendo il peso globale delle strutture. L'analisi vibro-acustica dei provini realizzati per laminazione, utilizzando diverse tipologie di materiale, ha evidenziato



Fig.3: Fase del processo di laminazione

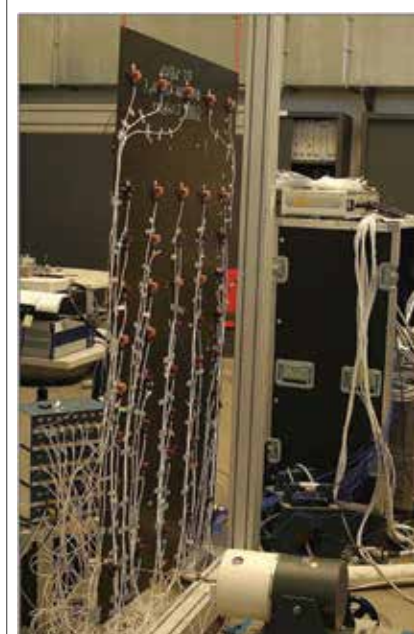


Fig.4: Pannello in composito strumentato per la valutazione dell'efficacia dello smorzamento

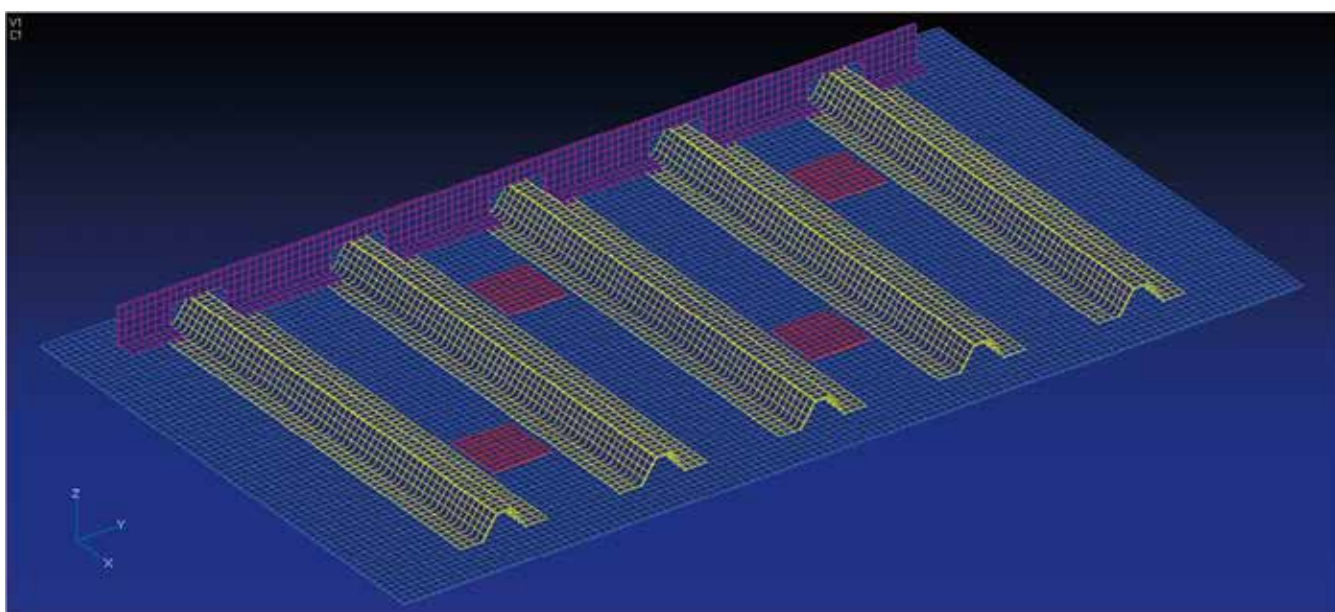


Fig.5: Modello FEM del pannello ARCA

## - L'esperienza di IMAST -



Fig.6: Porta di emergenza in composito termoplastico sviluppata nel progetto CESPERT

che le prestazioni acustiche, in termini di "Transmission Loss", beneficiano dell'aumentato smorzamento strutturale, sia per l'effetto di riduzione delle vibrazioni dei componenti bidimensionali in corrispondenza dei modi di vibrare, sia per un semplice effetto dovuto alla massa distribuita aggiuntiva.

Il risultato finale è stata la fabbricazione di un pannello stringherizzato con migliorate capacità di assorbire e dissipare energia vibro-acustica (-3dB) rispetto agli attuali sistemi, con una conseguente riduzione del rumore avvertito dai passeggeri a bordo ed una riduzione di peso del 60% (e conseguentemente di consumo di combustibile e inquinanti) rispetto ai sistemi attuali che prevedono l'aggiunta di componenti per la dissipazione dell'energia vibrazionale.

Le sinergie che si sono attivate tra i soci coinvolti nel progetto ARCA (Alenia Aeronautica, Cira - Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, CNR - Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali (IPCB) e Università di Napoli Federico II) hanno prodotto una crescita delle competenze nella valutazione dell'efficacia delle soluzioni smorzanti. Infatti, sono stati condotti test specifici in camere acustiche

climatizzate, per simulare le temperature di esercizio degli aeromobili (varie decine di gradi Celsius sotto lo zero) che hanno validato le metodologie numeriche previsionali sviluppate. Una delle ricadute più importanti è stata la creazione di un gruppo di ricercatori e di una serie di facilities per simulazioni numeriche (analisi agli elementi finiti FEM e BEM) e sperimentali (misure del comportamento vibrazionale del sistema carboresina/viscoelastico a medio-alta frequenza e relative procedure di estrazione dei parametri di smorzamento) tra le più avanzate sulle tematiche trattate. I risultati conseguiti, che hanno portato alla registrazione di un brevetto da parte di IMAST, si sono rivelati di notevole interesse anche per altri settori industriali del distretto, quali l'automotive, il ferroviario ed il navale, in cui la tematica dello smorzamento delle vibrazioni di strutture in composito è assolutamente funzionale al livello di comfort avvertito dai passeggeri. E le aziende socie del distretto, possono beneficiare, in fase di progettazione di strutture in composito, delle competenze e delle tecnologie sviluppate nel corso del progetto ARCA.



**I.R.O.P. di F.lli Zanacca srl**

Via Martiri della Liberazione, 107/A - 43126 Vicoforte (PR) - ITALY

tel. +39 0521 992968/9 - Fax +39 0521 992379

e-mail: [irop@irop.191.it](mailto:irop@irop.191.it)

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

Nata nel 1956, da molti anni IROP progetta e realizza **AUTOCLAVI PER MATERIALI COMPOSITI**

Le autoclavi a chiusura rapida IROP sono progettate e costruite secondo la Direttiva 97/23/CE "PED" e riportano la marcatura "CE". Esse vengono realizzate in svariate dimensioni secondo le "specifiche" del cliente e trovano largo impiego in diversi settori industriali da quello aeronautico e spaziale a quello automobilistico e sportivo in generale.

Nella costruzione IROP si avvale dei più moderni criteri tecnologici. IROP ha inoltre recentemente ottenuto anche la Licenza di Costruzione Cinese per l'esportazione diretta in detto paese.



### PORTA DI EMERGENZA IN COMPOSITO TERMOPLASTICO DI UN AEREO REGIONALE

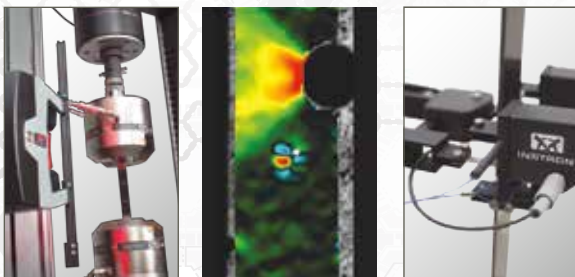
Nell'ambito del progetto CESPert "Compositi termoplastici E Strutture PER mezzi di Trasporto" (DM 29021), che ha visto come attori della ricerca congiunta i soci di IMAST, Alenia Aermacchi, AnsaldoBreda, CIRA, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli ed il consorzio CETMA, è stata progettata e realizzata interamente in composito termoplastico rinforzato con fibre di carbonio la porta di emergenza di un velivolo regionale ATR42. Tale dimostratore, è stato realizzato mediante termoformatura ed un innovativo processo di deposizione automatizzata (fiber placement). Il dimostratore presenta una riduzione di peso del 39% rispetto alla soluzione in alluminio attualmente in uso e la matrice termoplastica ne garantisce una maggiore riciclabilità rispetto ad una soluzione in termoindurente. Il dimostratore è stato progettato in maniera tale da poter sostituire l'attuale porta d'emergenza senza richiedere alcuna modifica al pannello di fusoliera corrispondente.



Fig.7: Setup sperimentale per il fiber placement, allestito dal CIRA, socio di IMAST

Le nostre più recenti soluzioni nel campo dei test su compositi includono la misura ad elevata accuratezza della deformazione per mezzo di tecniche video senza contatto, la determinazione della distribuzione delle deformazioni in 2D (DIC) e gli estensimetri biassiali

Ogni Volta Che La Tua Prova Diventa Importante... **SCEGLI** Instron®



Per vedere i nostri prodotti dal vivo, attraverso dimostrazioni pratiche, visitateci alla fiera JEC Europe 2015  
**Padiglione 7.2, Stand P78**



La differenza è misurabile®

## - L'esperienza di IMAST -

I sistemi materiali che soddisfano i requisiti chimico-fisici e strutturali previsti dall'applicazione sono il PPS (Poly(p-phenylene sulfide)) ed il PEEK (Polyether ether ketone) rinforzati con fibre di carbonio. In particolare, il pannello esterno (skin) a spessore costante, è stato realizzato in PEEK per fiber placement e successivo passaggio in autoclave, mentre il resto dei componenti strutturali sono stati termoformati in PPS. Con riferimento al processo di fiber placement, nel corso del progetto è stato allestito, presso il socio CIRA, un setup robotizzato in grado di gestire e monitorare i parametri essenziali del processo.

Sono state studiate le proprietà meccaniche dei diversi pannelli in composito (AS4-PEEK, T300J-PPS, IM7-PEEK) al variare delle condizioni ambientali (Cold/Dry & Hot/Wet) e in seguito a fenomeni di impatto. Fra i pannelli testati, quelli realizzati con il prepreg costituito da PEEK fibrorinforzato con il tape IM7, hanno mostrato le migliori performance meccaniche e sono quindi stati selezionati per realizzare lo skin del dimostratore. Quest'ultimo ha superato l'Hail Impact Test con un'energia di riferimento pari a 50J, corrispondente all'energia utilizzata per colpire con angolo di impatto a 90° la locazione centrale del pannello con una palla di grandine di 163 gr e di diametro 2.75". Il controllo non distruttivo ha evidenziato un danno "trascurabile".

La condivisione delle tecnologie realizzative (in particolare la termoformatura) e delle metodologie di modellazione prodotto/processo hanno permesso, nell'ambito dello stesso progetto di sviluppare soluzioni analoghe (composito termoplastico a fibra lunga) per altri settori industriali: il portellone di un'automobile ed il bumper di un tram urbano leggero. Tali sinergie hanno, inoltre, prodotto un database di compositi termoplastici, che tiene conto non solo delle proprietà del materiale a partire dai suoi costituenti (matrice e rinforzo), ma anche delle tecnologie di processo, la cui utilità è rilevante nella fase di progettazione di nuovi sistemi in composito termoplastico.

### ADESIVI INNOVATIVI PER APPLICAZIONI AERONAUTICHE

Una delle esigenze tecniche che nascono dall'utilizzo di materiali compositi in strutture multimateriali è la disponibilità di sistemi di giunzione avanzati e di relativi processi di incollaggio/assemblaggio affidabili. In particolare, nell'ambito del progetto ASAP "Adesivi compositi Strutturali per Applicazioni nel settore dei trasporti" (DM 29020), che ha visto come attori della ricerca congiunta Alenia Aermacchi, AnsaldoBreda, Cetrina, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli "Federico II", sono stati sviluppati nuovi sistemi adesivi con l'obiettivo di migliorare i

processi di incollaggio e le performance dei prodotti, per il settore dei trasporti, incluso quello aeronautico. Le soluzioni tecnologiche sviluppate nel progetto sono trasversali a diversi ambiti industriali: sistemi adesivi con incrementata resistenza alla fiamma, open time e tack free time (parametri fondamentali nel processo di incollaggio di componenti di grosse dimensioni), tenacità e proprietà meccaniche (utilizzando agenti tenacizzanti), resistenza a taglio (con monomeri ad alta funzionalità) reattività degli hot-melt. In particolare, per il settore aeronautico sono stati sviluppati due sistemi adesivi in grado di funzionare a bassa temperatura/pressione, pur mantenendo le caratteristiche strutturali (fatica e impatto), di durabilità e resistenza alla fiamma richieste all'applicazione: un sistema in pasta bicomponente per giunzioni strutturali stringer-skin e un adesivo in film da utilizzare durante operazioni di repairing.

Per le giunzioni strutturali incollate è stata sviluppata una pasta epossidica bicomponente AS1096 e AW1095 (prodotti da Elantas Italia) additivata con un monomero epossiamminico in grado di aumentarne la temperatura di transizione vetrosa (Tg). Nel caso delle giunzioni per riparazioni strutturali, è stato, invece, modificato il sistema epossidico AL003-280-24-600F (della Delta Preg) per filmatura tipo hot melt, supportato da scrim in fibra di vetro. I test di infiammabilità hanno messo in evidenza che i materiali possiedono un comportamento alla fiamma tale da garantire la resistenza al fuoco delle strutture e di conseguenza la sicurezza delle persone. I modelli chemo-reologici sviluppati hanno permesso di ottimizzare il prodotto finale. La verifica del conseguimento degli obiettivi finali è stata effettuata sui dimostratori con analisi meccaniche distruttive (SLS - single lap shear, DCB - double cantilever beam, damping), non distruttive (termografia), prove emissione fumi (FST - fire smoke and toxicity test) e morfologiche. Infine, sono state prodotte le linee guida per l'incollaggio degli stringer con i sistemi sviluppati.

Il sistema epossidico bicomponente, in sostituzione delle giunzioni metalliche (solitamente bullonate), consente una diminuzione di peso del 5% per un pannello stringherizzato (con conseguente riduzione dei consumi ed impatto ambientale). Ancor più importante è l'abbattimento dei costi del 10% del processo di incollaggio dell'adesivo in pasta bicomponente, in grado di polimerizzare fuori autoclave (riduzione dei consumi energetici, eliminazione stampi speciali, gas inerti e consumabili vari). Anche per gli adesivi in film sviluppati per applicazioni "repair", l'eliminazione del passaggio in autoclave produce una diminuzione del 10% del costo della riparazione, associato alla possibilità di di-

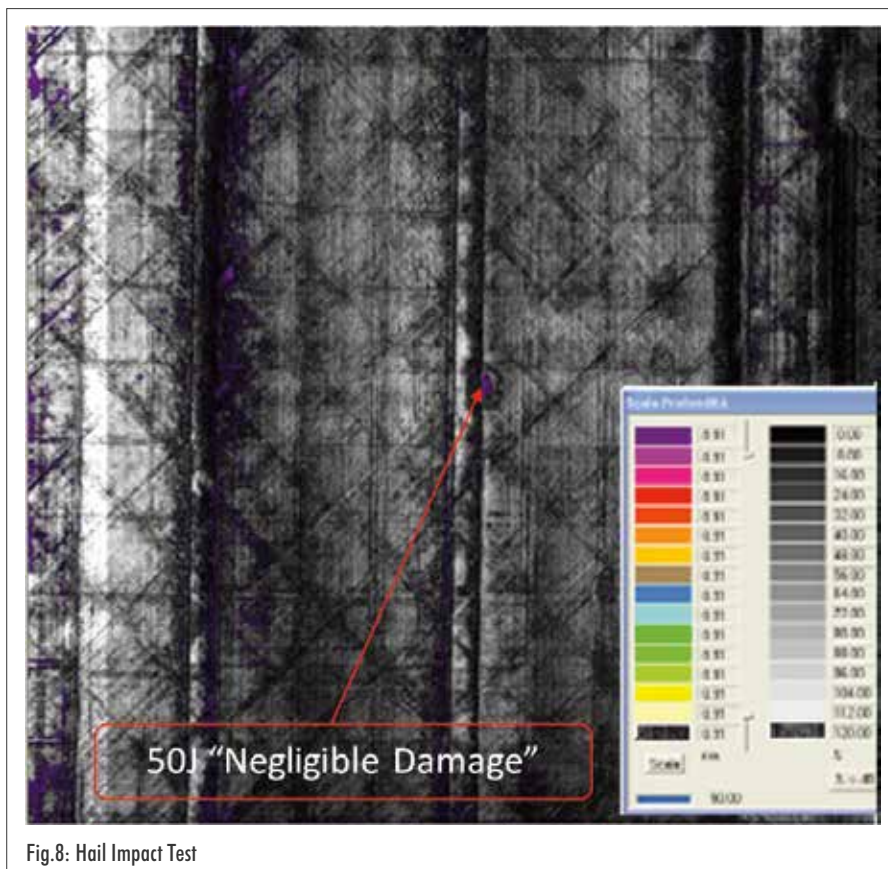


Fig.8: Hail Impact Test

sporre di un adesivo filmabile (applicazione più rapida e con una linea di colla costante) che influisce sulla precisione e sui tempi di applicazione dell'adesivo.

Alcune delle ricadute più importanti del progetto, frutto della condivisione delle competenze e delle sinergie che si sono attivate tra i soci coinvolti nelle attività di ricerca, sono l'accresciuta capacità di progettazione dei giunti adesivi e la valutazione dell'influenza dei parametri tecnologici sull'incolaggio, la conoscenza di nuovi sistemi adesivi, tradizionalmente non impiegati in ambito aeronautico, e la possibilità di utilizzo, nelle riparazioni, di film adesivi in grado di polimerizzare fuori autoclave. Tali capacità sono maturate anche grazie alla multisetorialità del progetto, in cui i settori automotive (Elasis e Centro Ricerche Fiat), navale (Cetena), ferroviario (AnsaldoBreda) ed aeronautico (Alenia), hanno messo a fattor comune le proprie conoscenze in termini di progettazione e sviluppo di giunzioni adesive.

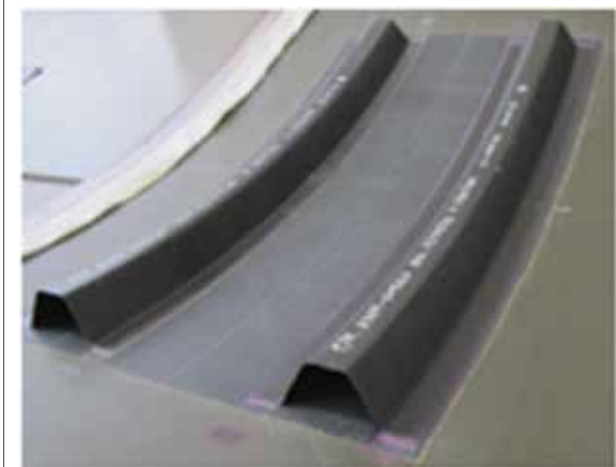
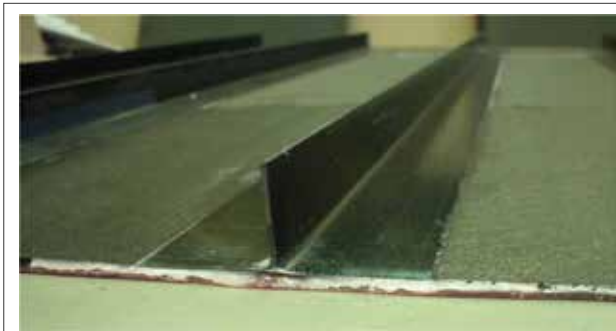


Fig.9: Incollaggio stringer-skin con adesivo bicomponente in pasta, realizzato nel progetto ASAP



Fig.10: Analisi SLS ASTM D3165-07 (sinistra) e DCB ASTM D5528-01 (destra) dei provini incollati

### Adhesives & Sealants



### Epoxy Resins for Composite Materials



### Epoxy & Polyurethane Tooling Resins



ELANTAS Italia srl  
Strada Antolini  
43044 Collecchio (PR) Italy  
[www.elantas.com/italia](http://www.elantas.com/italia)  
[SalesEEM.elantas.italia@altana.com](mailto:SalesEEM.elantas.italia@altana.com)

# The IMAST experience

*Some experiences developed in the aviation field in the framework of previously completed projects where alternatives to conventional metallic structural solutions were worked out with advantages in terms of lightweight, vibro-acoustic damping and reduction of cost and assembly time of fuselage elements.*

Composite materials combine properties, functionalities and structures featured by different materials and consequently offer higher performances that could not be obtained by the single components. Furthermore, since they cause the creation and adoption of new products they require the reorganization and innovation of all stages from design to production and testing. All these factors contribute in raising the level of industrial competitiveness, their placement on the market and the ability to attract, absorb and shape new and increasingly specialized expertise. The evolutionary path of composite materials is an exemplary case from this point of view: the combination of wood and oilskin used by the pioneers who built the first prototypes gave way to light metals (Al, Ti, superalloys) with and without reinforcements and finally to polymer composites. However these materials officially entered the civil aviation industry in 1981 with the Boeing 767 aircraft, but the most significant challenge was represented by the Boeing 787, sporting 50% of the primary structure in lightweight composites instead of aluminium. Such solution guarantees a fuel consumption 20% lower than that of aircrafts of equivalent tonnage. Moreover, the application of composite materials in this field is motivated not only by the low density (lightweight) but also by the high values in mechanical strength and rigidity with respect to the density, the excellent bending and shaping opportunities, the plastic versatility, the high thermal and electrical conductivity and the high resistance to corrosion. These are the reasons why composite materials continue to expand in the aircraft industry, aided by the estimates indicating that the current demand for aircrafts will lead to a doubling of the worldwide fleet of passenger and cargo aircrafts by 2025.

IMAST, the Technological District on Engineering of Polymeric and Composite Materials and Structures, acts as a knowledge integrator identifying industrial research activities and combining in a single project the scientific and technological expertise of its associates (large companies, universities and research institutes) with the selection and development of scientifically important topics and the design and implementation of composite systems and related tech-

nologies with applications to a range of industrial fields (aviation, aerospace, automotive, railway, shipbuilding, polymer electronics, biomedical and defense).

The aviation field is involved in several research projects launched by IMAST aiming at the development multifunctional fiber-reinforced polymer composites applied to fuselage elements, innovative adhesives and bonding systems for metal and polymer composite elements, models supporting the integrated design of production processes of composite elements for aerospace applications, innovative processes and composite systems for the repair of composite structures and automated process technologies (fiber placement and filament winding) focused on the optimization of energy consumption and reduction of production waste.

As an example we report here on some experiences occurred in past projects where IMAST, taking advantage of the expertise of its members, developed composite solutions for fuselage elements with vibro-acoustic damping properties that are presently being applied to Boeing 787 commercial aircrafts, an emergency door of a regional airliner that was completely made out of a recyclable thermoplastic composite and new structural adhesives that can reduce costs and assembly times of fuselage elements.

## **COMPOSITE PANEL AND INCREASED VIBRO-ACOUSTIC PROPERTIES**

In the framework of the ARCA project (Ottimizzazione della caratteristiche Acustiche di materiali Compositi per l'Aeronautica, Optimization of the Acoustic Characteristics of Composite Materials for Aviation), based on a specific requirement from Boeing IMAST developed an innovative acoustic absorber system to be implemented in the composite structure during the lamination process of the fuselage and aimed at the application on commercial aircrafts like Boeing 787.

An integrated design system was developed to realize a fiber-reinforced composite panel containing a sheet of viscoelastic material and active control systems that can increase the properties of vibro-acoustic absorption and improve passenger comfort (less vibrations and noise) reducing the overall weight of the structure.

The vibro-acoustic analysis of the specimens prepared for lamination using different types of materials showed that the acoustic performance in terms of 'Transmission Loss' benefit from the increased structural damping both due to the reduction of vibrations in the two-dimensional components in correspondence of the vibration modes and to the direct effect of an additional distributed mass.

The final result was the production of a panel with improved abilities of vibro-acoustic energy absorption and dissipation (-3 dB) with respect to current systems, resulting in a reduction of the noise perceived by on-board passengers and a 60% weight reduction (and therefore a reduction in fuel consumption and pollution) with respect to current systems where components for the dissipation of vibrational energy must be added. The collaborations created between the members involved in the ARCA project (Alenia Aeronautica, Cira - Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, CNR - Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali (IPCB) and Università di Napoli Federico II) resulted in an increased ability in the evaluation of the effectiveness of damping solutions. Indeed specific tests were performed in air-conditioned acoustic chambers in order to simulate the operation temperatures of aircrafts (several tens of degrees Celsius below zero) that validated the numerical predictive methods previously developed. One of the most important outcomes was the creation of a group of researchers and of a series of facilities for numerical simulations (FEM and BEM analysis) and experimental tests (measurement of vibrational behavior of the carbon resin/viscoelastic system at medium-high frequency and the relative procedures for the evaluation of the damping parameters) that rank among the most advanced in their field. The results thus obtained led IMAST to the registration of a patent and proved to be of considerable interest to other industrial sectors of the district, e.g. automotive, railway and shipbuilding, where the topic of vibration damping in composite structures is of paramount importance in the level of comfort perceived by passengers. As a consequence the companies in the district can benefit from the skills and technologies developed during the ARCA project when designing composite structures.

## **THERMOPLASTIC COMPOSITE EMERGENCY DOOR FOR A REGIONAL AIRLINER**

The design and production of an emergency door for the regional aircraft ATR42 completely made out of thermoplastic composites was the subject of the CESPert (Compositi termoplastici E Strutture PER mezzi di Trasporto) project (DM 29021), a joint research carried out by the partnership IMAST members, Alenia Aermacchi, AnsaldoBreda, CIRA, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli and CETMA consortium. The demo was realized by thermoforming and implementing an innovative automated fiber placement process. The demo exhibits a 39% weight reduction with respect to the aluminium solution currently in use and the thermoplastic matrix guarantees a high recyclability level compared to a thermoset option. The demo was designed in such a way to replace the present emergency door without the need of modifications in the relative fuselage panel.

The materials satisfying the chemical-physical and structural parameters required by this application are PPS (Poly(p-phenylene sulfide) and PEEK (Polyether ether ketone) reinforced with carbon fibers. In particular, the constant-thickness outer skin was made out of PEEK with a fiber placement process and successively cured in the autoclave while the other structural components were realized in PPS by thermoforming. Concerning the fiber placement process, during the project an automated apparatus was set up in the CIRA facilities which could handle and monitor the essential process parameters.

The mechanical properties of the different composite materials (AS4-PEEK, T300J-PPS, IM7-PEEK) were studied under varying environmental conditions (Cold/Dry & Hot/Wet) and after impact events. The panels manufactured with a prepreg made out of PEEK and an IM7 tape fiber reinforcement showed the best mechanical performance among the range of tested materials and therefore were selected for the realization of the demo's skin. This prototype passed the Hail Impact Test with a reference energy of 50 J, corresponding to the energy used to hit the center of the panel with a 163 g, 2.75" diameter hailstone at an impact angle of 90°. The non-destructive test showed a "negligible damage".

The dissemination of the technologies (and thermoforming in particular) and the product/process modeling methods allowed for the development of similar solutions (long-fiber-reinforced thermoplastic) for other industrial fields within the same project: the boot lid of a car and the bumper of a light urban streetcar. These synergies also resulted in the creation of a database of thermoplastic composite materials where process

technologies are considered besides the properties of the material arising from its components (matrix and reinforcement) and whose application is hence useful in the design of new thermoplastic composite systems.

## **INNOVATIVE ADHESIVES FOR AVIATION APPLICATIONS**

One of the technical needs stemming from the use of composite materials in multimaterial systems is the availability of advanced bonding systems and the reliability of the related bonding/assembly processes. Concerning this topic the ASAP (Adesivi compositi Strutturali per Applicazioni nel settore dei trasporti) project (DM 29020), a partnership of Alenia Aermacchi, AnsaldoBreda, Cetena, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli Federico II, led to the development of new adhesive systems with the aim of improving the bonding processes and the product performance for the application in the transportation field, including the aviation. The outcomes of the technology solutions developed during the project cut across several industries: adhesive systems with increased flame resistance, open time and tack time (fundamental parameters in the bonding process of large-size components), toughness and mechanical properties (through the implementation of toughening agents), shear strength (with high-functionality monomers) and hot-melt reactivity. In particular two adhesive systems were developed for aviation applications that can operate at low temperature and pressure while keeping their structural properties (fatigue and impact), their durability and flame resistance as required in such application: a two-component adhesive glue for structural stringer-skin joints and a film adhesive to be used in repair operations.

A two-component (AS1096 and AW1095, Elastas Italia products) epoxy paste was developed for glued structural joints. An epoxy-aminic monomer was added to increase the glass transition temperature (Tg). A modification of the AL003-280-24-600F epoxy system (a Delta Preg product) for a hot-melt film manufacturing process on a glass fiber scrim was used to be applied in the repair of structural joints. Flammability testing showed that the behaviour of these materials guarantees the flame resistance of the structures and hence people's safety. The chemo-rheological models developed allowed for the optimization of the final product. The verification of the achievement of the ultimate goals was performed on the prototypes by means of destructive mechanical analysis (SLS - single lap shear, DCB - double cantilever beam, damping), non-destructive methods (thermography), smoke emission tests (FST - fire smoke and toxicity tests) and morphological tests. Finally, guide-

lines were produced for the bonding of stringers with the developed systems.

The replacement of metallic joints (generally bolted joints) two-component epoxy system with the two-component epoxy system allows for the a 5% weight reduction in a stringer panel (and consequently the reduction of fuel consumption and environmental impact). The cost reduction of the glueing process with the two-component paste is even more significant and amounts to 10%, since curing is done out of autoclave (with reduction of energy consumption, elimination of custom moulds, inert gases and consumables). A 10% reduction of the cost of operation is also achieved in the case of film adhesives developed for repair applications, due to the opportunity of exploiting a film (allowing for a quicker placement and a continuous strip of glue) that positively affects the adhesive precision and the time required for its application.

Some of the most important outcomes of the project, stemming from the dissemination of expertise and partnerships created between the members taking part in the research activities, are the increased skills in the design of adhesive joints and in the evaluation of the influence of technological parameters on the bonding process, the knowledge of new adhesive systems that are not conventionally used in the aviation industry, and the opportunity of implementation of adhesive films with out-of-autoclave curing capabilities in repair operations. These skills were developed also thanks to the interdisciplinarity of the project, where the automotive (Elasis e Centro Ricerche Fiat), shipbuilding (Cetena), railway (AnsaldoBreda) and aviation (Alenia) industries shared their expertise in terms of design and development of adhesive joints.

## **All the mentioned figures refer to the italian version**

**Fig.1:** Cross section of the Boeing 787 fuselage

**Fig.2:** Composite fuselage panel of a cargo aircraft with 'omega' currents and C-shaped frames showing increased vibro-acoustic properties, developed in the framework of the ARCA project

**Fig.3:** A step in the lamination process

**Fig.4:** Composite panels being tested for the damping efficiency Pannello in composito strumentato per la valutazione dell'efficacia dello smorzamento

**Fig.5:** FEM model of the ARCA panel

**Fig.6:** Emergency door in thermoplastic composite materials developed during the CESPert project

**Fig.7:** Experimental apparatus the fiber placement set up by CIRA, a member of IMAST

**Fig.8:** Hail Impact Test

**Fig.9:** Stringer-skin bonding with two-component adhesive past developed during the ASAP project

**Fig.10:** SLS ASTM D3165-07 (left) and DCB ASTM D5528-01 (right) of the bonded specimens