

Piscine in composito polimerico per navi da crociera

Nell'ambito del progetto di ricerca di IMAST "Adesivi compositi Strutturali per Applicazioni nel settore dei trasPorti" ASAP (DM 29020) sono stati sviluppati adesivi innovativi e metodologie di progettazione per realizzare una piscina in composito polimerico per navi da crociera, in alternativa alle grandi piscine in acciaio adottate nella cantieristica navale, utilizzando collegamenti diversi dalle giunzioni meccaniche (saldatura e bullonatura).

Per sostenere le sfide competitive poste dal mercato globale, occorre individuare scenari di sviluppo tecnologico di medio e lungo periodo e priorità tematiche da perseguire attraverso un'azione di coordinamento nazionale ed internazionale tra attori della ricerca, distretti ad alta tecnologia e poli di eccellenza sulle tematiche convergenti. L'interdisciplinarietà dell'approccio è elemento fondante dell'esperienza di IMAST, il Distretto Tecnologico sull'Ingegneria dei Materiali Compositi Polimerici e delle Strutture, che agisce da knowledge integrator tra le competenze scientifiche e tecnologiche dei propri soci: Imprese, Università, Enti e Centri di ricerca. In dieci anni di attività IMAST ha promosso collaborazioni su scala nazionale e internazionale, agendo come holding dei laboratori dei soci. Da questo approccio sono nate e continuano a nascere progettualità comuni.

Tra queste figura anche il progetto di ricerca di IMAST sugli "Adesivi compositi Strutturali per Applicazioni nel settore dei trasPorti" ASAP (DM 29020), finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, che ha visto come attori della ricerca congiunta Alenia Aermacchi, AnsaldoBreda, Cetena, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli "Federico II". Nell'ambito del progetto ASAP sono stati sviluppati nuovi sistemi adesivi per migliorare i processi di incollaggio e le performance dei prodotti per il settore dei trasporti. Le soluzioni tecnologiche proposte e sviluppate nel progetto sono trasversali a diversi ambiti industriali. In particolare, sono stati sviluppati sistemi adesivi con funzionalità innovative, per incrementare la resistenza alla fiamma, aumentare l'open time e la tack free time, parametri fondamentali nel processo di incollaggio di componenti di grosse dimensioni, aumen-

tare tenacità e proprietà meccaniche del giunto utilizzando agenti tenacizzanti, aumentare le caratteristiche a taglio con monomeri ad alta funzionalità, incrementare la reattività degli hot-melt. Inoltre, sono state messe a punto metodologie di progettazione di componenti integranti giunzioni strutturali incollate e tecniche di assemblaggio che sono risultate di particolare interesse soprattutto per quei settori in cui la giunzione strutturale è affidata totalmente alle giunzioni meccaniche. Nell'ambito di ASAP hanno operato diversi settori industriali: aeronautico, automotive, ferroviario e navale.

Con riferimento al settore navale, nell'ambito del progetto ASAP, sono stati sviluppati adesivi innovativi e metodologie di progettazione che hanno permesso di realizzare una piscina in materiale composito polimerico per navi da crociera, in alternativa alle grandi piscine in acciaio convenzionalmente adottate nella cantieristica navale, utilizzando collegamenti diversi dalle giunzioni meccaniche (saldatura e bullonatura). Tale soluzione è stata conseguita grazie alle collaborazioni attivate nell'ambito del progetto tra il socio industriale CETENA - Centro per gli Studi di Tecnica Navale del Gruppo Fincantieri, IMAST ed imprese, Università e Centri di ricerca soci del Distretto.

L'industria marittima è un settore economico chiave, che garantisce migliaia di posti di lavoro e mantiene ancora un buon potenziale di crescita. In un contesto di crisi economica globale e di crescente concorrenza dei paesi emergenti, la cantieristica navale e l'ingegneria marittima devono investire sulla diversificazione in chiave innovativa dei prodotti, incidendo anche sulla specializzazione produttiva dei cantieri. La ricerca è partita dall'esigenza di individuare soluzioni e materiali in grado di migliorare le prestazioni strutturali e funzionali dei mezzi di trasporto del settore navale, focalizzando l'attenzione sulle navi da crociera.



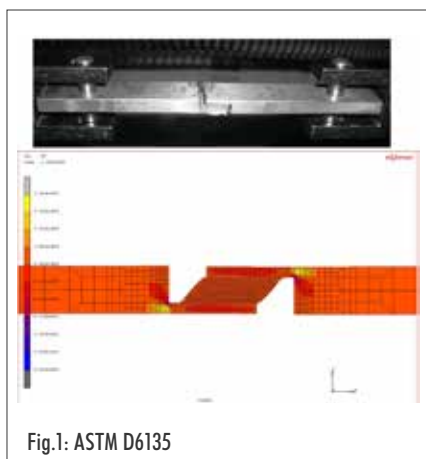


Fig.1: ASTM D6135

Negli ultimi anni le navi da crociera sono diventate sempre più grandi, dotate di servizi alberghieri di alto livello e capaci di trasportare oltre tremila passeggeri in piena comodità; queste esigenze hanno determinato trasformazioni nella struttura delle navi e negli interni, sempre più funzionali e maestosi. Data l'importanza di questo mercato su scala globale, la capacità di progettare e realizzare navi dall'alto contenuto tecnologico diventa un fattore di successo sempre più rilevante, considerando il livello di competizione espresso dalla concorrenza che un grande gruppo industriale come Fincantieri deve affrontare.

In quest'ottica, uno degli obiettivi principali da raggiungere nei prossimi anni è la riduzione del peso nave, conseguibile anche attraverso il ricorso a materiali non convenzionali per il settore della cantieristica navale, quali i materiali compositi.

Lo studio è stato condotto ponendo particolare attenzione al collegamento tra l'invaso in composito e le strutture in acciaio della nave, realizzato mediante giunto adesivo. Quest'ultimo costituisce l'interfaccia tra due materiali differenti, quali l'acciaio e il materiale composito, e deve pertanto essere in grado sia di assorbire le differenze di comportamento meccanico e termo-meccanico tra i due materiali, sia di assicurare un collegamento stabile e duraturo nell'arco della vita operativa della nave, misurabile in 20 anni. In particolare, con il contributo del socio CNR IPCB è stato messo a punto un adesivo innovativo contenente agenti ritardanti di gelificazione per aumentare l'open time e la tack free time, parametri fondamentali nel processo di incollaggio di componenti di grosse dimensioni.

Parallelamente, è stato messo a punto un modello elasto-plastico del materiale in grado di rappresentarne il comportamento meccanico; sono stati eseguiti dei test meccanici con la collaborazione dell'Università "Federico II" che hanno

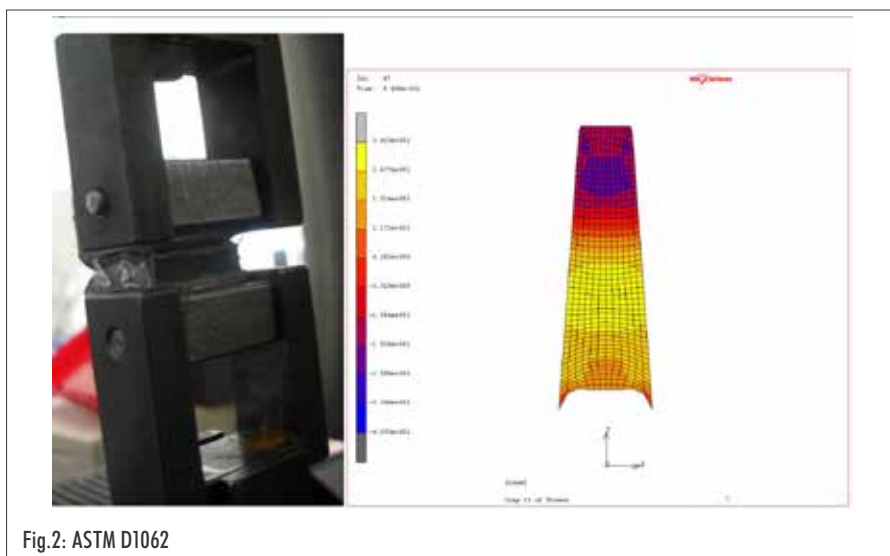


Fig.2: ASTM D1062

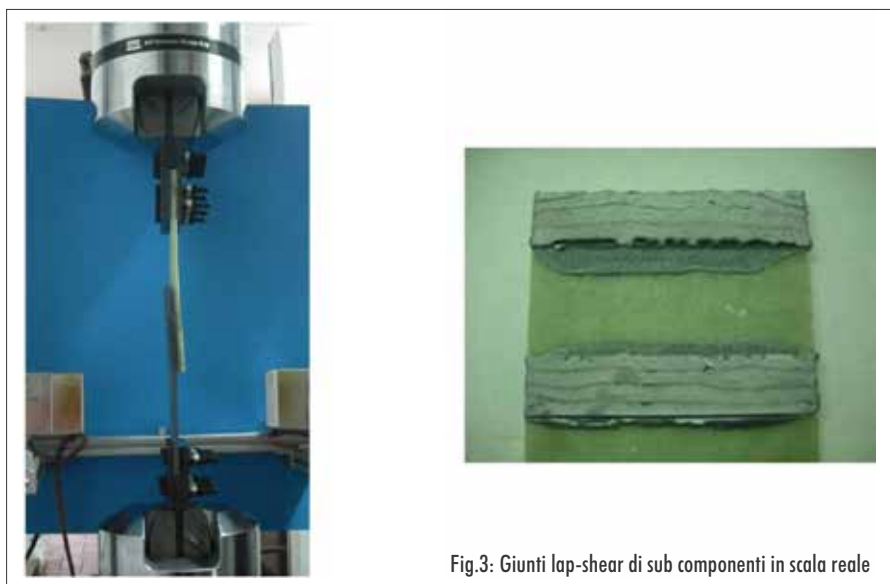


Fig.3: Giunti lap-shear di sub componenti in scala reale

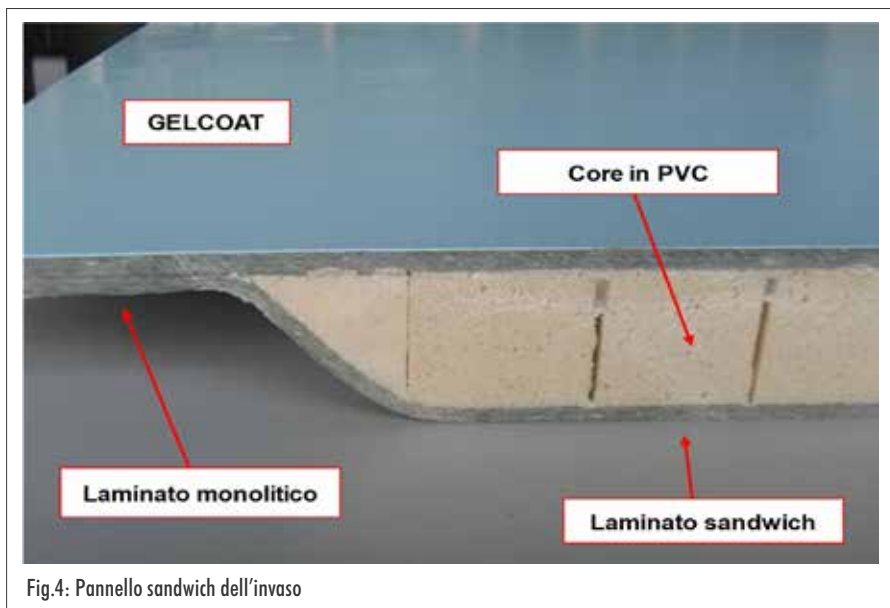


Fig.4: Pannello sandwich dell'invaso

- Piscine in composito polimerico per navi da crociera -

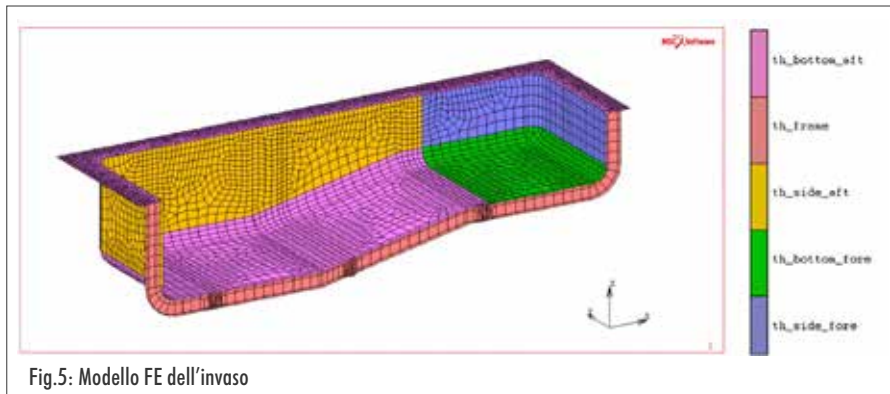


Fig.5: Modello FE dell'invaso

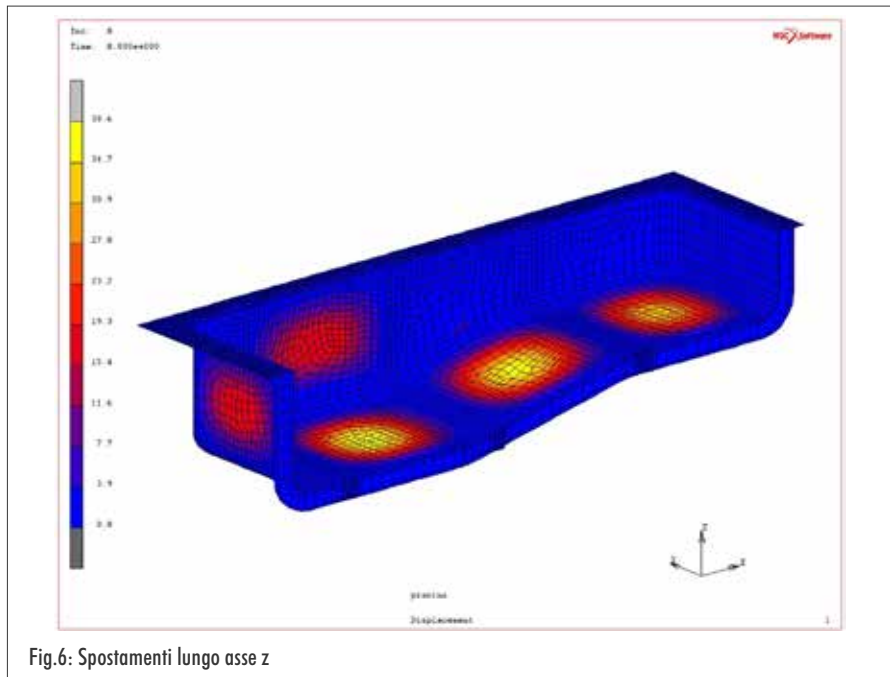


Fig.6: Spostamenti lungo asse z

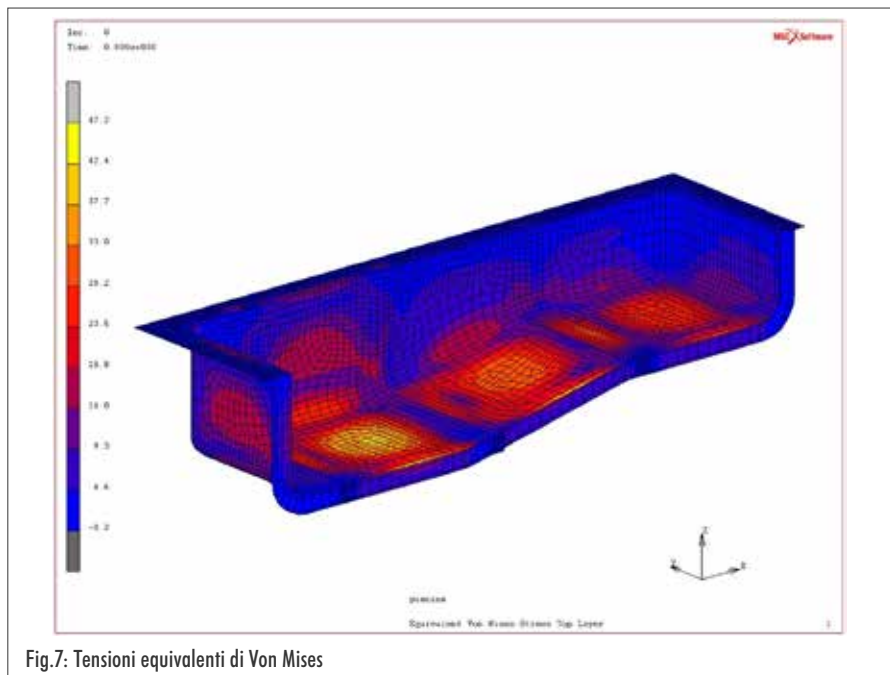


Fig.7: Tensioni equivalenti di Von Mises

confermato una buona correlazione tra i dati numerici e quelli sperimentali.

Una volta completato il piano di test di caratterizzazione sperimentale del materiale adesivo, è stato definito il materiale costituente l'invaso della piscina. Si tratta di un pannello sandwich avente un core in schiuma di PVC a celle chiuse e skin in resina epossidica rinforzata con tessuti in fibra di vetro.

Per la progettazione dell'invaso, in primo luogo è stato condotto il dimensionamento degli spessori del pannello sandwich, considerando la piscina piena d'acqua e soggetta alle accelerazioni della nave. Sono state individuate 5 macroaree in ciascuna delle quali il sandwich presenta spessori di skin e core costanti, determinati mediante un'ottimizzazione multi obiettivo (Multi-objective-optimization - MOO) basata sull'algoritmo di "ottimizzazione con sciame di particelle" (Particle Swarm Optimization). Si tratta di un metodo iterativo, stocastico ed euristico di ricerca e ottimizzazione, ispirato alle leggi che regolano il movimento degli sciame degli uccelli.

Il carico considerato per l'analisi consiste nella pressione esercitata dall'acqua sulle pareti dell'invaso data dall'espressione:

$$P = k \rho g (z - z_0)$$

in cui il fattore k è posto pari a 1.5 per tenere conto delle accelerazioni verticali della nave, ρ è la densità dell'acqua, g l'accelerazione di gravità, e z_0 la coordinata z del pelo libero dell'acqua.

Le figure 6 e 7 mostrano i risultati di una simulazione non lineare (opzione *large strain* del codice MARC) con le prime ipotesi di spessori sulle varie zone della piscina.

Mediante l'ottimizzazione eseguita attraverso 500 simulazioni FE, si è giunti all'individuazione di 64 configurazioni (set di spessori per le 5 macroaree) mostrate nel fronte di Pareto di seguito riportato, in cui è possibile scegliere una soluzione ottimale in grado di contenere la freccia del pannello costituente il fondo della piscina entro un limite prefissato, minimizzando nel contempo il peso totale dell'invaso in composito.

Si è passati alla fase della modellazione FEM con il codice MARC MENTAT del sistema costituito dall'invaso in composito e dalle strutture della nave con cui è connesso mediante giunto adesivo acciaio/composito. Obiettivo di questa analisi è stato determinare l'entità dei carichi trasmessi dalle strutture in acciaio della nave alla piscina in composito attraverso la giunzione adesiva, quando la nave è soggetta ai carichi globali di progetto, ossia al massimo momento di *hogging* e al massimo momento di *sagging*.

- Piscine in composito polimerico per navi da crociera -

È stato verificato il progetto nel suo complesso, ponendo particolare attenzione alle sollecitazioni agenti nei singoli cordoni di materiale adesivo. Per la realizzazione del primo prototipo si è optato per processi in grado di minimizzare il costo di produzione, garantendo i requisiti di prodotto finali per l'applicazione industriale. Per il processo realizzativo dello stampo si è individuata la tecnica di lavorazione di pannelli in MDF (Medium Density Fiberboard - 700 kg/m³) mediante fresa a portale a controllo numerico a cinque assi. Si tratta di un approccio di tipo *Direct Moulding*, in cui si prevede la realizzazione dello stampo senza passare da un modello positivo a perdere, consentendo di contenere i costi entro valori giustificabili anche per produzioni di qualche unità.

Inoltre si è prevista una suddivisione dello stampo in moduli, che possono essere così riutilizzati più volte per piscine di diverse dimensioni e forme, in funzione delle richieste della Società Armatrice.

Sempre nell'ottica del contenimento dei costi si è optato per una laminazione hand lay-up. Il manufatto così realizzato può essere preallestito con tutti gli impianti ausiliari richiesti dal committente, quali impianti di illuminazione integrati, scalette e tientibene in acciaio inox, impianti per il carico/scarico dell'acqua, bocchette per l'idromassaggio, etc..

La fase di installazione a bordo è rapida rispetto al processo convenzionale, in quanto si tratta di "imbarcare" la piscina con le facilities del cantiere navale direttamente nel vano dedicato e procedere all'incollaggio con le strutture in acciaio. Per la fase di erogazione dell'adesivo, si prevede l'impiego di pistole pneumatiche, che consentono grande maneggevolezza, indispensabile per l'uso a bordo.

La figura 13 mostra il prototipo realizzato nell'ambito del progetto ASAP, che è stato testato meccanicamente per verificarne la risposta ai carichi esterni.

CONCLUSIONI

Rispetto alle convenzionali piscine in acciaio, la soluzione di piscina in composito consente di:

- ottenere, per una grande piscina di nave da crociera (10 m x 4 m x (h) 2 m), un risparmio in peso di almeno 7 t sui ponti alti della nave, con un beneficio in termini di aumento di stabilità nave
- eliminare i fenomeni di corrosione e migliorare l'aspetto estetico con possibilità di prevedere geometrie complesse (superfici a doppia curvatura, scale integrate, ecc.)
- installare a bordo nave la piscina già preallestita con tutti gli impianti

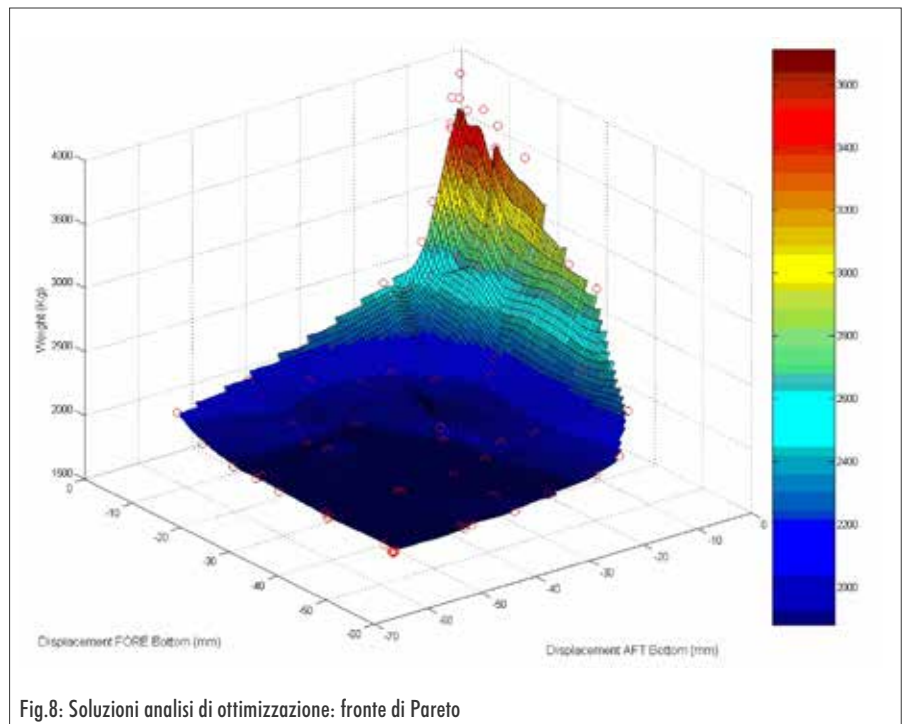


Fig.8: Soluzioni analisi di ottimizzazione: fronte di Pareto

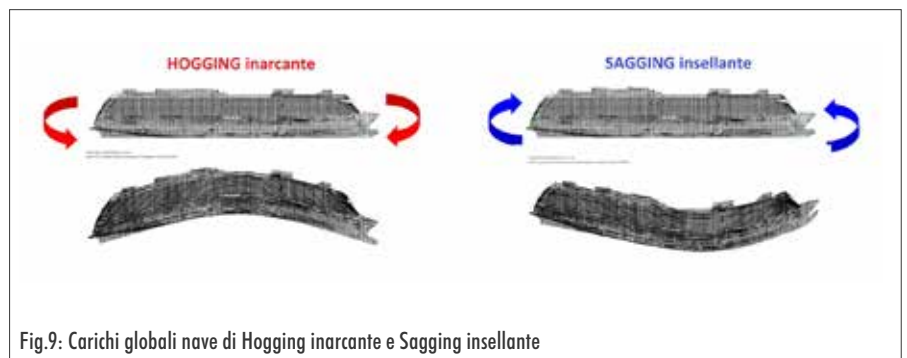


Fig.9: Carichi globali nave di Hogging inarcante e Sagging insellante

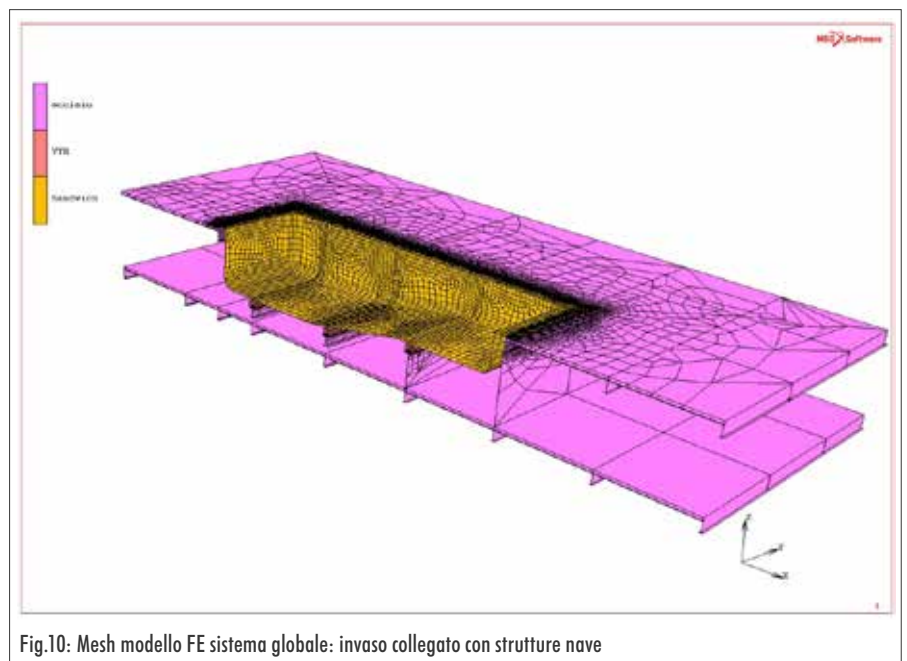


Fig.10: Mesh modello FE sistema globale: invaso collegato con strutture nave

- Piscine in composito polimerico per navi da crociera -



Fig.11: Stampo ottenuto per Direct Moulding



Fig.12: Stratificazione hand lay-up



Fig.13: Prototipo realizzato

ti ausiliari necessari, con benefici in termini di tempi e costi rispetto al processo produttivo convenzionale.

Partendo dal presupposto che le navi di oggi non sono unità standard, ma che piuttosto ognuna di esse è un prodotto su misura a elevato valore aggiunto e che rispecchia le specifiche esigenze e richieste del cliente, l'obiettivo di offrire un prodotto competitivo implica

un impegno rilevante nello sviluppo di soluzioni tecnologiche applicate e di innovazione, in grado di determinare ricadute rapide sulla realizzazione del prodotto. Di conseguenza, ogni nave può essere considerata un nuovo prodotto, che nasce dalla combinazione delle specifiche attività svolte nelle costruzioni precedenti in risposta alle necessità del cliente e dalle attività di ricerca e innovazione: un ottimo banco di prova per

applicare nuove tecnologie migliorando il prodotto finale.

Le soluzioni sviluppate nel progetto ASAP per il settore navale e per tutti gli altri settori industriali hanno richiesto competenze multidisciplinari che si sono rese possibili proprio grazie alle forti sinergie attivate tra le Imprese, le Università ed i Centri di ricerca pubblici soci del Distretto IMAST e che hanno partecipato al progetto.



**GAZECHIM
COMPOSITI
ITALIA SPA**

info@gazechim.it

www.gazechim.it

**Sede Legale, Ufficio
Amministrativo e Commerciale:**

Via Cassia, 1699 - 00123 Roma
Tel. 06 90.73.607 r.a. - Fax 06 90.85.238

Piacenza - Ufficio e Deposito:
Str. Malpaga, 10 ZI - 29010 Calendasco (Pc)
Tel. 0523 763.078 r.a. - Fax 0523 763.038

Catania - Ufficio e Deposito:
Via S. Maria di Licodia, 93 - 95032 Belpasso (Ct)
Tel. 095 912.300 r.a. - Fax 095 912.250

Distribuisce in Italia

RESINE POLIESTERI E GEL COAT



RESINE POLIESTERI E VINILESTERI



FIBRE DI VETRO E MULTIASSIALI



OCV Reinforcements

BARRIER COAT E BONDER



FELTRI E RINFORZI NON VETROSI



Polymer composite swimming pools for cruise ships

As part of the IMAST research project "Composite structural adhesives for applications in the transport sector" ASAP (DM 29020), innovative adhesives and design methodologies have been developed to build a swimming pool in polymer composites for cruise ships as an alternative to large steel pools adopted in shipbuilding, and using connections other than mechanical joints (welding and bolting).

If we want to take on the competitive challenges posed by the global market we need to identify technological development scenarios over a medium and long term as well as priority topics to pursue by means of national and international coordination actions involving research players, high-technology districts and centers of excellence and focusing on converging interests. The interdisciplinary approach is a fundamental element of the experience of IMAST, the technological district on Engineering of Polymer Composite Materials and Structures, which acts as a knowledge integrator between the scientific and technological expertise of its members: Businesses, universities and research centers and organizations. In ten years of activity IMAST promoted partnerships at a national and international level, acting as a holding company of its members' laboratories. Common projects have continuously stemmed from this approach.

One of these projects is the IMAST research project "Composite structural adhesives for applications in the transport sector" ASAP (DM 29020), funded by the Ministry of Education, Universities and Research, which saw the joint participation in the research activities of Alenia Aermacchi, Ansaldo-breda, Cetena, Elasis, Centro Ricerche Fiat, CNR, Università degli Studi di Napoli "Federico II". In the framework of the ASAP project new adhesive systems were developed in order to improve the bonding processes and the performance of products aimed at the transport sector. The technological solutions proposed and developed in the project can be applied to a range of industrial fields. In particular, new adhesive systems with innovative functionalities were developed in order to increase flame resistance, open time and tack free time, that represent fundamental parameters in the bonding process of large-sized components, as well as

to upgrade toughness and mechanical properties of joints with the use of toughening agents, increase the shear strength properties with high functional monomers, enhance the reactivity of hot-melts. Moreover, methods have been developed for the design of components implementing glued structural joints and assembly techniques that proved to be of particular interest especially in the fields where the structural joint relies completely on mechanical joints. Several industrial fields operated within the ASAP project: aerospace, automotive, railway and marine industry. Concerning the marine industry, innovative adhesives and design methodologies were developed within the ASAP project leading to the realization of a polymer composite swimming pool for cruise ships which represents an alternative to the large steel pools commonly used in shipbuilding. These pool implements a jointing approach other than usual mechanical joints (welding and bolting). Such solution was achieved thanks to the partnerships started up in the framework of the project between the industrial partner CETENA – Centro per gli Studi di Tecnica Navale of the Fincantieri Group, IMAST and companies, universities and research centers of the district.

The shipbuilding industry is a key economic sector, which provides thousands of jobs and still retains a good growth potential. In a context of global economic crisis and growing competition from emerging countries, shipbuilding and maritime engineering must invest on a diversification approach driven by innovative product concepts with an impact on the manufacturing specialization of the shipyards, too. The research activity started from the need to find solutions and materials that can improve the structural and functional performance of the means of transport of the marine sector, focusing in particular on cruise ships.

In the recent years cruise ships have

been increasing in size, with high-level hotel services and a transportation capacity up to three thousand passengers in full comfort; these requirements have determined transformations in the structure of ships and their interiors, which have become more and more functional and majestic. Given the importance of this market on a global scale, the ability to design and build ships with a high technology content has become an increasingly important success factor, which relates to the level of competitiveness from business competitors that a large industrial group like Fincantieri has to face.

With this in mind, one of the main objectives to be achieved in the coming years is the reduction of the ship weight, which can be obtained using non-conventional materials for shipbuilding, such as composite materials.

The study was performed with special attention to the joint between the composite shell and the steel structures of the ship, realized by means of an adhesive joint. The latter constitutes the interface between two different materials such as steel and the composite material, and hence must be able to both absorb the differences in the mechanical and thermomechanical behaviour of the two materials and to ensure a stable and durable joint throughout the service life of the ship, which can be estimated to be about 20 years. In particular, thanks to the contribution of the research partner CNR-IPCB an innovative adhesive has been developed that contains gel retarding agents in order to increase the open time and tack free time – key parameters in the bonding process for large-sized components.

In parallel, an elasto-plastic model has been developed suitable to describe the material's mechanical behavior. Mechanical tests were performed with the collaboration of the University "Federico II" which confirmed a good correlation between the numerical and the experimental data.

- Polymer composite swimming pools for cruise ships -

After the completion of the testing campaign for the experimental characterization of the adhesive material, the proper material to be used for the pool reservoir was identified. This is made out of a sandwich panel with a PVC foam cell core and epoxy resin skin reinforced with glass fiber fabrics.

The design of the pool shell started with the dimensioning of the sandwich panel thickness, considering the pool filled with water and subject to the ship's accelerations. Five macroregions were identified where the sandwich features constant skin and core thickness, whose values were determined by means of a multi-objective optimization (MOO) based on a Particle Swarm optimization algorithm. This algorithm consists in an iterative, stochastic and heuristic research and optimization method inspired to the laws governing the motion of bird flocks.

The load considered for the analysis is represented by the pressure exerted by water on the walls of the shell given by the formula:

$$P = k \rho g (z - z_0)$$

where the factor k is set to 1.5 to take into account the ship's vertical acceleration, ρ is the density of water, g the gravitational acceleration and z_0 is the z coordinate of the free surface of water. Figures 6 and 7 show the results of a non-linear simulation (large strain option of the MARC code) with the first assumptions for the thicknesses of the different areas of the pool.

By means of the optimization performed throughout 500 FE simulations, 64 configurations (sets of thickness values for the 5 macroregions) were identified and are shown in the Pareto chart reported in the following, where one can choose an optimal solution restricting below a set limit the maximum displacement of the panel that makes up the bottom of the pool, while the total weight of the composite shell is simultaneously minimized.

The following step was the FEM modeling with the MARC MENTAT code of the system comprising the composite shell and the ship structures the shell is anchored to by means of the steel/composite adhesive joint. The goal of this analysis was the determination of the loads transferred from the ship's steel structures to the composite pool through the adhesive joint when the ship is subject to the design overall loads, i.e. at maximum *hogging* and *sagging*.

The whole design was tested with a special attention to the stresses acting on the single strips of the adhesive ma-

terial. In the manufacture of the first prototype the choice fell on processes minimizing the production cost while guaranteeing the final product requirements wanted for the industrial application. The mould was manufactured by machining MDF (Medium Density Fiberboard - 700 kg/m³) panels with a 5-axes CNC milling machine. This is a Direct Moulding approach where the mould is created without a positive mould, which allows for a cost reduction within acceptable values even for production of few components. The mould was also split in modules, so that these can be re-used several times and in pools of different size and shape according to the requirements of the client shipowner.

Cost reduction was also the basis for the choice of the hand lay-up technique. The product thus obtained can be pre-fitted with all auxiliary systems required by the customer, such as integrated lighting systems, stainless steel stairs and handrails, water intake/drain systems, whirlpool bathtub nozzles etc. The installation stage is fast when compared to the conventional process since it consists in taking on board the pool using the shipyard facilities, placing it directly in the dedicated location and proceeding with the bonding to the steel structures. Pneumatic glue gun are foreseen in the glue lay-up stage, as easy handling is fundamental when using tools on board.

Figure 13 shows the prototype realized for the ASAP project, which was mechanically tested in order to check its response to external loadings.

CONCLUSIONS

Compared to conventional steel pools, the composite pool solution allows for:

- the attainment of a large cruise ship swimming pool (10 m x 4 m x (h) 2 m), a weight reduction of 7 t at least in the upper decks of the ship, with the benefit of an increased ship stability
- the elimination of corrosion phenomena and the improved appearance, while allowing for complicated geometries (double curvature surfaces, integrated stairs, etc.)
- on-board installation of the pool pre-fitted with all necessary auxiliary systems, with time and cost benefits with respect to the conventional manufacturing process.

Given the fact that nowadays ships are not standard units but each one is rather a customized product with high added value and which reflects the

specific needs and demands of the customer, the goal of offering a competitive product implies a significant commitment in the development of applied and innovative technological solutions that can quickly impact on the manufacturing process of the product. As a result, each ship shall be considered a new product born from a combination of the specific activities carried out in the previous manufacturing processes in response to the customer needs and of the research and innovation activities: An excellent test bench to apply new technologies improving the final product. The solutions developed in the ASAP project and aimed both at the marine field and all other industrial sectors requested a multidisciplinary expertise made possible by the strong synergies created between companies, universities and national research centers partnering in the IMAST District and participating in the project.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: ASTM D6135

Fig.2: ASTM D1062

Fig.3: Lap-shear joint of real-size subcomponents

Fig.4: Sandwich panel of the shell

Fig.5: FE model of the shell

Fig.6: Displacements along the z axis

Fig.7: Von Mises equivalent stresses

Fig.8: Solutions of the optimization analysis: Pareto chart

Fig.9: Overall ship Hogging and Sagging loads

Fig.10: Mesh of the FE model of the overall system: shell joined to the ship structures

Fig.11: Mould obtained through Direct Moulding

Fig.12: Layer structure obtained through hand lay-up

Fig.13: Manufactured prototype