

3

INNOVATIONS ET ASPECTS TECHNICO-ECONOMIQUES DANS LES APPLICATIONS STRUCTURALES ET NON- STRUCTURALES DES MATERIAUX COMPOSITES A BORD DE PAQUEBOTS ET NAVIRES MARCHANDS* .

A. MACCARI¹, F. FAROLFI²

Résumé - Un intérêt considérable est porté à l'heure actuelle à la recherche, la conception et l'application pratique des matériaux composites dans la Division Merchant Shipbuilding de Fincantieri. Cette communication a pour objet de présenter l'état de l'art et les innovations dans les applications pour les coques, équipements et cabines, avec la perspective de l'impact économique de ces matériaux sur la technologie, la production et les exigences de sécurité, qui reste un sujet de développements futurs.

Mots clés : matériau composite, coque, équipement, cabine, sécurité, économie.

LES COMPOSITES DANS LA CONSTRUCTION NAVALE.

Nous discutons ici les aspects de coût et de réduction de poids dans la construction navale, à la fois pour les structures de coque et d'équipements, résultant d'un effort majeur pour déterminer l'approche la plus avantageuse pour l'utilisation des plastiques et des composites.

La Division Merchant Shipbuilding de Fincantieri est déterminée à résoudre, en collaboration active avec les sociétés de classification et les armateurs, les problèmes techniques et économiques stimulants qui sont importants pour l'industrie, que ce soit pour la marine marchande conventionnelle (transporteur de vrac, pétroliers, cargos) ou les paquebots ou les ferries.

Avant de porter l'attention sur les aspects de plus haute priorité où des améliorations sont nécessaires et où les applications pratiques ont déjà été entreprises, il semble nécessaire de rappeler quelques avantages

* traduit de l'anglais

¹ Fincantieri - Merchant Shipbuilding Division - Technical Dept., Hull Structures.

² Fincantieri - Merchant Shipbuilding Division - Technical Dept., Research and Development.

inhérents aux propriétés des matériaux composites. Habituellement, l'accent est mis sur les aspects les plus évidents, tels que poids léger, hautes propriétés mécaniques, stabilité dimensionnelle, résistance à la corrosion chimique et aux expositions météorologiques, résistance aux attaques biologiques et de microorganismes, bonne isolation électrique et thermique, moulage aisé, maintenance minimale, haute qualité esthétique.

A l'inverse, les principaux désavantages peuvent se résumer à : moules onéreux, pratiques seulement quand le coût est subdivisé sur une large échelle de production, fumée et émission de gaz toxique pendant la combustion, déflexion excessive sur les assemblages de grande taille dans des conditions de service rigoureuses, manque de règles et de normalisations spécifiques et claires, nécessité d'une plus grande compréhension des principes de conception.

Les éléments plastiques et composites doivent d'ordinaire remplacer, de façon fiable, les structures conventionnelles en acier ou en alliage léger. Les tendances actuelles et les demandes de la construction navale révèlent des contraintes et des limitations spécifiques en comparaison des autres industries comme l'automobile, l'aérospatiale et l'électronique, qui utilisent déjà des matériaux avancés.

Le concepteur doit prendre directement conscience de l'importance des implications économiques et, de ce fait, les applications de haute technologie ne seront probablement pas acceptés par la construction navale, à cause de leur coût et des problèmes de production.

Un faible coût est un facteur déterminant, plus spécialement de nos jours, quand le secteur des composites, affecté par les réductions des budgets militaires, traverse une période de croissance zéro, et qu'une restructuration des composites avancés a commencé.

Cependant, Fincantieri est activement impliqué dans quelques projets et applications pratiques, confiant que, avec la réalisation de directives et normalisations spécifiques, la tendance future sera une acceptation accrue de ces nouveaux matériaux par les sociétés de normalisation et les armateurs.

Plusieurs applications ont été mises en pratique, à la fois dans les domaines de structure et d'habitation/équipement. Quelques exemples, des plus concrets, sur différents thèmes, sont présentés pour donner une vue globale rapide mais étendue des techniques actuelles et des développements potentiels en projet.

APPLICATIONS STRUCTURALES

L'utilisation des matériaux composites est requise pour travailler sur des problèmes de réduction de poids et de stabilité, plus spécialement pour les paquebots de grande taille. Le but est d'éliminer les difficultés de mise en œuvre des structures en alliage léger, de minimiser les coûts, d'améliorer la qualité esthétique et de réduire la maintenance.

Ainsi, les parties les plus élevées des superstructures, tels que roufs, mâts et cheminées ont été conçues et produites en matériaux composites.

Un exemple concret est illustré par l'ensemble des cheminées érigées sur les deux bateaux-jumeaux "Costa Classica" et "Costa Romantica", deux bâtiments de 50000 tonnes (grt) pour la ligne Costa Crociere, livrés par le chantier Venice-Marghera pour le marché américano-caraïbéen, en service à Port Everglades en Floride.

Les bateaux présentent trois cheminées cylindriques chacun, avec une section elliptique et une dimension d'ensemble de 3x5x12 mètres (photos 1 et 2). Les éléments d'équipement à l'intérieur des cheminées sont montés de façon résiliente sur des enveloppes de base en acier, pour permettre une pré-érection efficace de chacun des modules, et sont par la suite inclus dans une coque auto-porteuse en FRP. Une analyse par méthode d'éléments finis (FEM) étendue a été entreprise pour estimer et résoudre les problèmes techniques dûs aux fortes rafales de vent (100 nœuds), aux effets d'inertie en conditions navigantes, aux contraintes thermiques dues au soleil tropical et à la proximité des tuyères d'échappement.

Dans le modèle, les différents modules élastiques le long des axes principaux sont évalués, en fonction de la composition des couches de peaux époxy des coques sandwich (âme en mousse). La modélisation inclut l'évaluation des contraintes, le contrôle du flambage et la déflexion globale de la coque et des grilles FRP supérieures. Les différents cas de charge prennent aussi en considération les chargements des étapes de nettoyage suspendu et de chargements pendant la mise en place. De grandes précautions ont été prises pour éviter les surcontraintes des connections boulonnées avec les fondations en acier, dues à la différence des coefficients thermiques des matériaux.

Cette conception permet une réduction globale de poids d'environ 50% et une économie de 20%, quand on compare avec une structure équivalente en alliage léger avec des grilles en acier inoxydable, en améliorant l'aspect esthétique à la satisfaction de l'armateur.

Des applications similaires ont été conçues pour les trois paquebots de prestige de la ligne Holland America, dont le premier est en livraison au chantier naval de Monfalcone. L'énorme cheminée, initialement prévue en FRP, a son corps central partiellement fabriqué en acier, ce qui est apparu plus économique quand on considère le nombre et la dimension des moules requis pour le FRP (photo 3). L'attention a plutôt été portée sur des parties plus pratiques, comme les panneaux prismatiques de côté (une âme de mousse polyuréthane de faible densité et des peaux polyester avec mat de renfort unidirectionnel et mat à fibres courtes), incorporant en retrait le logo de l'armateur, et un lot de grilles stratifiées faisant écran aux embouts d'échappement de l'intérieur de la cheminée. Les larges panneaux de grille préfabriqués sont aussi ajustés au rouf et au mât principal, diminuant les coûts d'érection et la maintenance

dans des zones exposées à la corrosion acide, permettant une coloration profonde de toutes les parties, sans marbrures.

Dans le contexte des marchands de bateaux conventionnels, le poids structural et la stabilité doivent faire face à différentes contraintes, et l'utilité des structures composites doit être prouvée par comparaison avec les ouvrages en acier traditionnels. Une étude a montré la possibilité d'installer les bases pour une amélioration dans une conception modulaire de cheminée, qui devient compétitive si elle est associée avec une conception améliorée des équipements intérieurs (système de ventilation, canalisations, chaudières), qui définit la limite du revêtement de la machine au niveau du pont supérieur et ainsi éviter le problème des protections structurales exigées pour un feu de classe "A", en fonction des règles OMI-SOLAS.

Ces cheminées modulaires, adaptées aux exigences dimensionnelles de chaque bateau, diminuent le poids d'un tiers par rapport à l'acier conventionnel, ont plus de souplesse esthétique, offrent diverses caractéristiques comme les emballages modulaires à bon marché, permettent une bonne coloration et sont résistantes à la chaleur et aux rayons ultraviolets (avec des charges adéquates et des stabilisants à la lumière).

Cependant, le potentiel des nouveaux développements structuraux est directement lié à la confiance des principaux armateurs dans la croissance des composites dans de nombreux domaines où les matériaux non-métalliques sont sous-utilisés, mais aussi dans des aspects en dehors des domaines habituellement pris en considération, à condition qu'ils satisfassent les exigences de résistance des réglementations existantes. Une expérience a été acquise pour les écrans de vagues modulaires en composite, agissant comme une barrière efficace contre les mers agitées sur le pont exposé des pétroliers, et pour roufs en FRP utilisés pour le stockage d'équipement du pont. Mais, dans ces secteurs, il sera nécessaire, dans un futur proche, d'avoir une exploitation plus poussée des matériaux de remplacement.

APPLICATIONS POUR LES EQUIPEMENTS

La confiance des principaux producteurs et constructeurs navals dans les composants d'équipements en FRP se reflète dans la lente mais constante croissance de ces applications à bord des navires.

Le meilleur exemple est donné par les ballasts éprouvés en GRP et tuyauteries de fond de cale dans les paquebots et navires conventionnels. Une analyse sur un pétrolier de 70000 tonnes (dwt), comparant l'équipement GRP et les composants des conduites avec les tuyauteries en acier galvanisé pour usage de ballast, a montré que, pour une longueur totale d'environ 850 mètres de tuyauterie, d'un diamètre nominal d'environ 200 mm, il est possible d'obtenir une économie de plus de

20% et un gain de poids pouvant atteindre 72% avec les solutions GRP. Non seulement les tuyaux, mais aussi les équipements et les composants divers du bâtiment peuvent amener à des bénéfices. Cependant, une réelle économie est réalisée par la réduction du travail technique de préparation des plans détaillés et les documents pour la construction des tuyaux en acier sur le chantier naval, et la réduction des frais de montage.

Une attention particulière est à porter aux problèmes de déflexion et des différents coefficients thermiques de manière à concevoir des joints sûrs et flexibles entre les tuyaux en GRP et la coque en acier dans la partie la plus basse des cales de cargo.

Ces applications, couronnées de succès, ont forcé les concepteurs à prévoir d'autres domaines possibles, tels que les tuyaux pour la salle des machines où la difficulté réside dans les réglementations au feu établies pour assurer un fonctionnement sûr et fiable.

Il est considéré comme acquis qu'une économie considérable peut être obtenue en utilisant, pour la machinerie de refroidissement à eau salée, les GRP à la place des alliages onéreux Cu-Ni, mais l'annexe du document OMI FP 35/WP, qui est la seule ébauche de réglementation existante, limite sévèrement l'utilisation de ces matériaux à bord. A l'heure actuelle, l'utilisation des tuyaux en composite est limitée aux classes 0 et L3. En fait, les tuyaux de classe 0 ne sont pas soumis aux tests d'endurance au feu, et les tuyaux L3 sont soumis aux tests de feu pendant 30 minutes, remplis d'eau. Les tuyaux appartenant aux groupes L1 et L2 (c'est-à-dire pour les circuits principaux) sont soumis au test au feu sec, sans liquide dans la canalisation. Pendant le test, la température doit rester inférieure à la courbe limite pendant 30 ou 60 minutes, en fonction du groupe. A l'heure actuelle, à cause de la sévérité de ces réglementations, l'utilisation de tuyauteries en composite pour les groupes L1 et L2 doit être exclue.

Cependant, Fincantieri est directement impliqué, comme meneur de projet, dans un programme de recherche BRITE/EURAM, conduit en collaboration étroite avec les sociétés de classification et des fournisseurs, et un effort considérable a été consacré pour déterminer les limites opérationnelles réelles de la tuyauterie dans chaque condition de service. Bien sûr, la qualité et la sécurité ne sont pas l'objet de marchandages, mais la fiabilité des tuyaux en GRP pendant un incendie doit être prouvée équivalente sans excéder celles de l'acier.

A ce jour, les règles et réglementations des Class Societies s'appuient seulement sur le document OMI, et, dans le but de définir un document final et standard sur le sujet, la tâche de Fincantieri est de clarifier les barrières technologiques à vaincre et suggérer une approche plus flexible des critères d'acceptance.

La recherche étudiera les limites opérationnelles, définira les standards de qualité et les procédures de fabrication pour satisfaire les exigences statutaires qui deviennent toujours plus sévères.

Les résultats économiques vaudront l'effort alloué à la recherche si

on considère que les 0,5% actuels de tuyauterie FRP (10% des pétroliers) deviendront vraisemblablement 38 à 44% (classes 0 et L3), avec une économie potentielle de 10 à 15% en matériel et main d'œuvre, un gain de maintenance de 10 à 20% et une réduction de poids jusqu'à 55%.

D'autres applications intéressantes des tuyauteries ont été entreprises et menées à bien avec des matériaux non-composites, mais simplement du plastique - polyéthylène et polypropylène - utilisé pour l'eau domestique sanitaire (froide et chaude), les eaux usées domestiques et de service sur des paquebots.

Pour chaque bateau de passagers de 50000 tonnes (grt), correspondant à une longueur globale de tuyauterie polymère d'environ 15 km, l'économie dépasse de loin le million de dollars américains, avec un gain de poids de presque 100 tonnes.

Ces matériaux n'ont pas d'implication directe avec les règles de l'OMI, à condition qu'ils ne soient pas utilisés sous le pont cloison ou dans des zones étanches et que l'intégrité au feu soit garantie dans le sens de feu de cloison (classes A et B selon la SOLAS, sauf amendements restrictifs des propositions OMI FP 36 et 37 / WP 9 entrant en vigueur).

Les avantages résident aussi en termes d'élimination de l'isolement, d'introduction d'équipements et de composants standard prêts-à-l'emploi et de réduction de tous les coûts techniques impliqués par la conception, qui peuvent seulement être limités au diagramme schématique de base.

Cependant, le constructeur de bateau peut tout au plus se réjouir de l'économie d'échelle utilisant des articles d'équipement fabriqués en composites standard, qui ne nécessitent pas de conception sophistiquée, tels que des boîtes d'équipement de combat du feu, des réservoirs de déversement des eaux usées, des chaises longues, des petits réservoirs et des boîtes d'arrimage de pont, des petites écoutilles, des grilles de ventilation, des grillages, des aérofreins, etc.

APPLICATIONS POUR AMENAGEMENTS INTERIEURS

Des projets de recherche en collaboration entre Fincantieri, des organisations industrielles, les laboratoires des sociétés de classification et d'autres centres de recherche ont été poursuivis dans différentes voies pour développer la conception de cloisons internes en composites, satisfaisant conjointement les critères opérationnels et de sécurité. Les progrès dans cette direction ont été gênés par le manque de connaissance et d'expérience de ces matériaux, mais les applications peuvent être très étendues. Dans un bâtiment de croisière, plus de 15000 m² de cloisons de divisions internes, correspondant à 550 t d'ouvrage en acier traditionnel, peuvent espérer être réalisées en composites, avec un gain de poids général d'environ 40% (en considérant aussi l'isolation). Pour les superstructures conventionnelles de navires marchands, le potentiel d'application des matériaux renforcés par fibres peut aller jusqu'à 2500

m² (c'est-à-dire 120 t d'acier), à la fois pour les panneaux structuraux et non-structuraux, avec le même pourcentage d'économie.

Ces aspects sont les sujets d'un vaste programme de recherche, financé par des projets EC BRITE / EURAM, et le but est de définir des panneaux FRP non-combustibles, en accord avec la classe A0 de la SOLAS, avec émission réduite de fumée et de gaz toxique.

La recherche est en cours, mais des résultats couronnés de succès ont déjà été obtenus dans la conception et l'approbation d'une cloison de classe B15, pour l'utilisation comme divisions pour cabines de passagers, couloirs et espaces publics à bord des navires de croisière (photo 4). Pour avoir une large compréhension des propriétés de ces panneaux, des tests expérimentaux et des calculs ont été entrepris pour le façonnage de la conception et la satisfaction aux exigences. Des tests au feu, des calculs par éléments finis, des essais de chargement et d'impact ont été effectués avec une prise de considération des problèmes pratiques de production des panneaux. Tous les détails ont été optimisés pour assurer une installation et une intégration faciles avec tous les équipements standard, tels que les prises électriques, les renforts de fixation de l'ameublement et des encadrements de fenêtres (également faits en stratifiés FRP).

En comparant différentes solutions pour l'âme des panneaux sandwichs (mousse, nid d'abeille), les propriétés thermiques et acoustiques (niveau de bruit admis 40 dB) ont été optimisées pour satisfaire la demande, à la fois dans des conditions normales et dans l'éventualité d'un incendie.

Le gain de poids peut atteindre 30% avec des coûts de production et d'installation qui permettent une économie d'environ 15%, en prenant en compte les applications pour cabines de passagers et les espaces publics tels que les salons, les bars, le casino.

Les bénéfices sont aisément compris en considérant la quantité de panneaux et les bons résultats esthétiques : les moulages permettent une extrême souplesse de formes, des connexions sans raccords et une uniformité des surfaces avec une couche finale de "gel coat" ou un revêtement traditionnel. Les panneaux peuvent avoir les mêmes dimensions qu'une cabine, être auto-portants et, de ce fait, faciles à manier et à assembler à bord.

Des applications similaires sont également en cours pour les planchers surélevés et les marches dans le théâtre principal, les cuisines, les blanchisseries et autres espaces techniques. Une expérience significative a été obtenue et appliquée à des cloisons en sandwich FRP pour des chambres de stockage réfrigérées et des chambres frigorifiques, remplaçant le traditionnel acier inoxydable isolé, ceci avec l'approbation des services d'hygiène et de santé américain.

DIVERSES APPLICATIONS NAVALES

Un développement possible peut être illustré par des exemples d'applications préliminaires tels que des composants pour échafaudage (caillebotis de fibres de verre résistant à la fatigue des matériaux provenant d'un trafic piétonnier intense) et pour la partie supérieure des blocs d'amarrage (cales prismatiques ajustables remplaçant les traditionnels blocs en bois). Ces éléments sont d'un coût compétitif quand ils sont produits et préfabriqués en grande quantité, ils ne nécessitent que peu ou pas de maintenance par rapport aux équipements conventionnels et possèdent une plus grande flexibilité de conception.

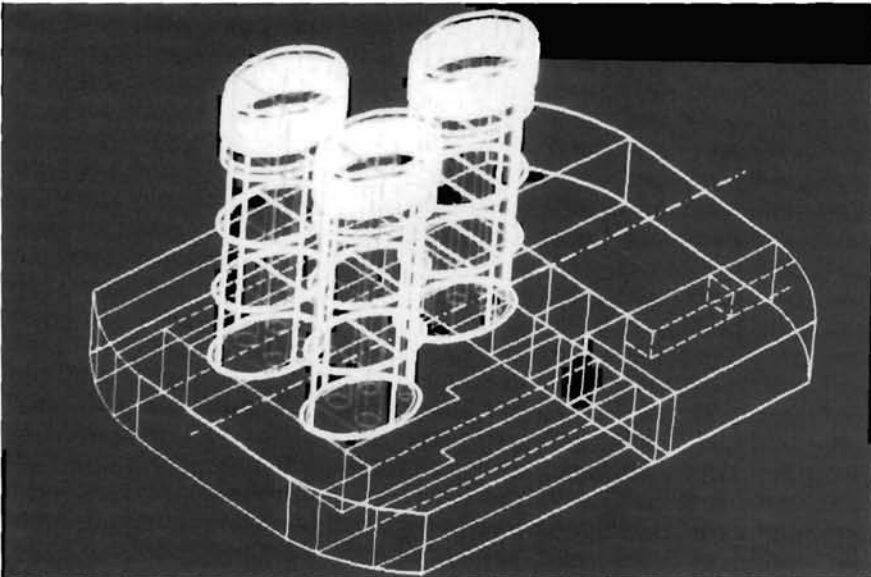
D'autres découvertes pour une production plus efficace dans des applications navales sont à espérer prochainement, à chaque fois qu'une standardisation commerciale peut être réalisée.

CONCLUSION

Nous avons exposé un résumé des applications marines, présentes et futures, à Fincantieri pour le composite renforcé par fibre, en même temps qu'une brève esquisse des aspects associés de fabrication et d'installation. Les problèmes de conception structurale ne doivent pas seulement être considérés du point de vue de l'analyse des contraintes et de l'évaluation de charges, mais aussi dans les implications de sécurité des composites à bord de navires de grande taille. La conception de ces structures requiert une connaissance approfondie de l'environnement marin, les architectes navals et les ingénieurs, si bien que, avertis des bénéfices potentiels découlant de l'exploitation de ces composites, devraient y consacrer un effort important d'innovation pour la construction navale.



1 - Paquebot "Costa Classica" - Cheminées FRP
Cruise passenger vessel "Costa Classica", FRP funnels.



2 - "Costa Classica" - Conception des cheminées FRP
FRP funnel design.



3 - Paquebot "Statendam" - Cheminée FRP
Cruise passenger vessel "Statendam", FRP funnel.



4 - Cloisons en composite - Cabine standard
Composite bulkheads, standard cabin.