

Non esiste, in assoluto, una combinazione di materiali migliore di altre poiché la scelta dei materiali da utilizzare per la realizzazione dei pannelli è legata non solo alle problematiche di resistenza e rigidità, ma anche a valutazioni sul processo da utilizzare e sul costo di produzione. Inoltre, le proprietà dei singoli costituenti garantiscono ai pannelli sandwich anche numerose altre interessanti caratteristiche quali isolamento termico e acustico, assorbimento delle vibrazioni, galleggiabilità, resistenza al fuoco ed agli ambienti aggressivi e buona resistenza al danneggiamento che possono condizionare ulteriormente la scelta.

### La progettazione di strutture sandwich

Da quanto esposto, appare evidente come le strutture sandwich possano rappresentare la soluzione ideale per moltissime applicazioni industriali, in particolare nel settore nautico. Tuttavia, proprio la peculiarità della loro struttura stratificata multi-materiale impone una particolare attenzione in fase di calcolo progettuale. Limitando la discussione ai soli aspetti strutturali, la corretta previsione della deformabilità, ma soprattutto della resistenza delle strutture ai carichi in esercizio può essere effettuata solamente mediante metodologie analitiche sofisticate, per la già citata complessità intrinseca e, come verrà discusso nel seguito, per i numerosi modi di cedimento che si possono manifestare.

Risulta quindi indispensabile una accurata valutazione sperimentale delle proprietà dei materiali utilizzati, ma anche la messa a punto di metodologie numeriche o analitiche affidabili, in grado di determinare con precisione lo stato tensionale presente nei pannelli e di confrontarlo, mediante opportuni criteri di resistenza, con i valori limite

imposti dalle diverse modalità di cedimento.

Nel seguito del lavoro vengono sinteticamente riassunti ed esemplificati alcuni aspetti fondamentali nella progettazione di una struttura sandwich quali:

- la caratterizzazione sperimentale di pannelli sandwich e dei materiali costituenti;
- le modalità di cedimento;
- l'analisi dello stato tensionale dovuto all'azione dei carichi esterni;
- l'analisi di resistenza e l'ottimizzazione.

### Caratterizzazione sperimentale

Il primo importante obiettivo dell'attività sperimentale è la valutazione accurata delle caratteristiche elastiche e di resistenza dei costituenti per fornire dati utili al progettista per la scelta dei materiali più adatti e per la corretta applicazione o la validazione dei modelli di previsione analitici e/o numerici. Spesso infatti i dati forniti dai produttori sono carenti ma soprattutto non contemplano l'influenza del processo specifico sulle caratteristiche finali dei materiali impiegati. Inoltre, nel caso dei laminati in materiale composito, è estremamente difficile reperire tutte le caratteristiche necessarie, in particolare le proprietà fuori piano, ed è quindi indispensabile la loro determinazione diretta. La verifica sperimentale delle prestazioni dei materiali impiegati può risultare indispensabile anche per le prove di qualificazione spesso richieste dai diversi Enti di certificazione.

La tipologia di prove eseguibili, sui singoli costituenti (pelli e anima) e sul pannello completo, è estremamente numerosa e per una descrizione completa ed esaustiva delle normative e metodologie di

### Design of Sandwich Structures

*On the basis of the brief introduction, the sandwich structures seem to be the best solution for several industrial applications, particularly in the boatbuilding and marine industry. Nevertheless, the peculiar morphology of a sandwich, namely the layered and multi-material structure, requires a special attention during the design phase. Reliable stiffness and strength prediction can be made, in fact, only by using suitable, accurate methodologies for the intrinsic structural complexity and,*

[Fig. 2] - Prova di trazione con estensometro biassiale su laminato carbonio/epossidica  
*Tensile test with bi-axial extensometer on a carbon/ epoxy laminate*



*methodologies for the intrinsic structural complexity and,*

[Fig. 3] - Prova di taglio su core in honeycomb in lega di alluminio / Shear test on aluminium honeycomb core



*as will be discussed later, for the several failure modes a panel can experience.*

*It is therefore required an accurate experimental characterisation of the materials together with the development of reliable, analytical or numerical procedures suitable to precisely assess the stress fields in the*

*panels and compare them with the limits imposed by the failure criteria related to the different modes of failure.*

*Some fundamental topics in the design of a sandwich structure are summarised and discussed in the remaining part of the paper:*

- experimental characterisation of sandwich panels and constituent materials;
- failure modes;
- analysis of the stress fields due the action of external loads;
- strength analysis and optimisation.

### Experimental Characterisation

*The first aim of this activity is the assessment of the elastic and strength properties of the constituents.*

*This helps the designer in choosing the more appropriate materials as well as in the validation of numerical or analytical prediction models. Moreover, for composite materials, there is very often a lack of reliable data, hence an experimental evaluation is needed, sometimes even to comply with the requirements of the certification Bodies. There is a great variety of experimental tests and procedures and a very interesting and exhaustive overview is reported in the handbook edited by Zenkert (1).*

*In the same book, as well as in refs. (2) and (3), typical properties of engineering materials commonly used for sandwich applications are presented. Among the most important tests, at least the tension and compression test on the skins, the compression, shear and bending tests on the core and the bending test on the whole sandwich panel should be mentioned.*

*Some examples of the experimental activity on constituent materials and sandwich panels, carried out in the laboratories of the Department of Management and Engineering at University of Padova, are presented in [Fig. 2-4].*