

Per la modellazione di una struttura sandwich con elementi finiti sono possibili svariati approcci. In figura 6 sono esemplificate due tra le possibili strategie: la più semplice possibile, bidimensionale, con elementi shell stratificati e la seconda, forse anche fin troppo complessa, in cui le pelli sono modellate con elementi shell stratificati e l'anima in honeycomb è modellata anch'essa con elementi shell. Tra le altre possibili strategie di modellazione si può prevedere la modellazione delle pelli con elementi shell e l'anima con elementi solidi isotropi oppure ortotropi (nel caso di honeycomb) e, infine, l'utilizzo di elementi solidi stratificati per le pelli e di elementi solidi per l'anima. Una ulteriore possibile soluzione, utile per la valutazione dello stato di tensione attraverso lo spessore di un pannello è rappresentata dall'utilizzo di modelli bidimensionali realizzati con elementi "plane" in stato piano di deformazione.

Anche nel caso delle analisi ad elementi finiti, come per le tecniche analitiche, il maggior grado di dettaglio e le maggiori informazioni che si possono ottenere con sofisticati modelli solidi tridimensionali [Fig. 6] vengono pagati con tempi di modellazione e di soluzione molto elevati e con un aumento della complessità nel trattamento dei risultati. Poiché l'analisi tensionale degli effetti locali richiede spesso un elevato grado di raffinatezza nel modello, una possibile soluzione di compromesso consiste nell'effettuare un'analisi preliminare della struttura su modelli semplici di soli elementi shell con successiva sotto-modellazione tridimensionale delle zone maggiormente critiche. Una ulteriore soluzione consiste nella modellazione della struttura da analizzare in parte con soli elementi shell e utilizzare una modellazione 3D nelle zone di critiche o di maggiore interesse (8). Questo ulti-

mo approccio richiede tuttavia una notevole esperienza e soprattutto una accurata fase di calibrazione e taratura delle procedure per l'accoppiamento di elementi di tipo diverso.

Indipendentemente dalla strategia di modellazione scelta, l'utilizzo di dati di input corretti ed adeguati, con particolare riferimento alla proprietà dei materiali utilizzati, assume un'importanza fondamentale data la loro notevole influenza sulla risposta dei modelli. Questa considerazione può sembrare banale ed ovvia ma in realtà non lo è per la frequente difficoltà nel reperire dati affidabili soprattutto sulle proprietà elastiche e di resistenza out-of-plane (fuori piano) dei laminati in composito e delle strutture in honeycomb.

Con l'obiettivo di valutare l'influenza della strategia di modellazione e delle proprietà elastiche dei costituenti sulla deformabilità e sullo stato di tensione in strutture sandwich in materiale composito, è stata effettuata una estesa attività di analisi sperimentale e numerica e i risultati sono stati presentati in (9). Sono state considerate diverse tipologie di modelli ad elementi finiti (solo elementi shell, elementi shell per le pelli e solidi per l'anima, elementi solidi per pelli ed anima) e i risultati numerici in termini di rigidità e campo di deformazione, sono stati confrontati con quelli ottenuti dalle prove sperimentali a flessione su pannelli in composito con anima in schiuma oppure honeycomb. È stata riscontrata una notevole influenza delle proprietà elastiche fuori piano sulle previsioni della rigidità e del campo di deformazione dei pannelli, confermando la necessità di una accurata determinazione sperimentale delle proprietà elastiche stesse. L'influenza della strategia di modellazione, pur sempre elevata, è risultata maggiore nel caso dei pannelli con anime in

*Moreover, it is possible to model the skins with layered shell elements and the core with isotropic (in the case of foam) or orthotropic (in the case of honeycomb) solid elements or, alternatively, to use layered solid elements for the skins and solid elements for the core. A further possible solution for a through-the-thickness analysis is the bidimensional modelling of a panel section with 2D elements under plane strain conditions.*

*As said for the analytical methods, even by using finite element analysis, the greater degree of accuracy obtained for instance by using sophisticated 3D solid models is paid in terms of modelling and solution time as well as in a more complicated evaluation of the results. The correct analysis of the stress fields due to the local effects requires, however, very accurate and refined models. In the attempt to satisfy the accuracy requirements and limit the drawbacks, after a preliminary analysis on a shell element model, a submodelling of the critical zones of the structure can be carried out by using 3D solid models. Another option is the combined use of 2D (shell) and 3D (solid) elements in the same FE model (8). In this case, however, great attention and experience is required for the calibration of the model and for the validation of the coupling procedure between 2D and 3D elements.*

*Despite the modelling strategy adopted, the use of correct input data for the constituent properties is of fundamental importance, considering their great influence on the final results. This note seems to be obvious and trivial but, actually, it is very important indeed due to the frequent lacking of reliable data for composite laminates and honeycomb cores, particularly for the out-of-plane properties.*

*An extensive numerical and experimental program on composite sandwich panels was*

*carried out with the aim to define an efficient and reliable way for the FE modelling as well as to evaluate the influence of the elastic properties of the constituents on the stiffness and strain field numerical assessment. The results are reported in ref. (9). Several solutions were considered for the sandwich modelling, namely shell elements, shell elements for skins and solid elements for core, solid elements for both skins and core. The FE results were compared with those obtained during three and four point bending tests on sandwich panels made with carbon/ epoxy skins and aluminium honeycomb or polymeric foam core. The comparison highlighted a great influence of the out-of-plane elastic properties of both skin laminates and cores in the estimation of the stiffness and the strain fields of the panels by means of FE models, suggesting therefore the need of a careful experimental assessment. The modelling strategy and the choice of the elements were found to have a greater influence in the case of panels with polymeric foam core, due to the limited elastic properties of the foam with respect to the honeycomb.*

### **Strength Analysis, Design and Optimisation**

*After the assessment of the global and local stress fields deriving from the externally applied loads and once identified the failure modes and the relevant limit conditions, it is possible to begin the final design phase of the structure. A two-phase approach is the more effective way to design a sandwich structure. In the first preliminary phase, a global analysis by means of the classical theories provides an indication of thickness, strength and elastic properties for skins and core and in the second phase the design is refined by considering the local effects such as delamination at the interface, inserts and*