

na ruota richiede uno stampo completo. Se la ruota è simmetrica, con un solo stampo è possibile costruire le due metà, riducendo i costi delle attrezzature.

In caso contrario, se la ruota non è simmetrica, è indispensabile uno stampo per ciascuna metà. Questa procedura rende possibile un controllo più accurato delle fibre, consentendo di ottimizzare meglio la struttura.

Questa operazione avrebbe potuto essere abbastanza adatta alla tecnologia che ci eravamo prefissi di adottare, mentre si è valutato che le razze e il cerchio separati non erano una opzione da prendere in considerazione perché i numerosi incollaggi avrebbero vanificato tutti i vantaggi ottenibili dall'uso dei pre-preg e della cura in autoclave.

Esisteva un'ultima possibilità da analizzare: costruire l'intera ruota in un'unica operazione senza incollaggi secondari. Questa soluzione presenta maggiori difficoltà perché una ruota completa è quasi interamente chiusa, avendo solo piccoli fori nel mozzo per l'accoppiamento con l'asse.

Il processo di laminazione e la pressione sulle pareti diventano così molto più difficili da controllare che non con uno stampo aperto.

Avevamo ipotizzato alcuni possibili metodi per risolvere i problemi di produzione, ma li valutavamo con molta prudenza dato che, per quanto ne sapevamo, non esistevano sul mercato ruote costruite in questo modo.

D'altra parte, questa opzione avrebbe garantito una grande riduzione di peso, data l'assenza di flange di raccordo, e la possibilità di ottenere una finitura superficiale perfetta fin dall'estrazione dallo stampo, senza dover stuccare e verniciare per coprire le linee di incollaggio, risparmiando ulteriormente sul peso. Abbiamo quindi ritenuto che valesse la pena effettuare uno studio serio di que-

sta possibilità.

Iniziammo con lo schermo vuoto del nostro computer e fissammo alcuni punti fermi del progetto.

Il processo di progettazione si è svolto come una partita di tennis fra i progettisti e gli operatori marketing, eliminando varie proposte per ragioni estetiche o per impossibilità tecnica oppure ancora per eccesso di costi finché la configurazione definitiva prese corpo.

In seguito fu necessario valutare la resistenza meccanica di questi progetti.

Alcune configurazioni erano già state scartate a causa di difetti strutturali macroscopici, ma a questo punto bisognava analizzare in dettaglio le forme rimaste e stabilire la corretta stratificazione delle fibre.

Fortunatamente avevamo a disposizione un buon software per la simulazione strutturale a elementi finiti dei compositi, quindi è stato possibile "giocare un po'" con i numeri senza la remora di dover pagare consulenti esterni per un lungo processo di ottimizzazione.

Il pacchetto FEA HSH Straus 7 era già stato collaudato per il progetto di un albero in fibra di carbonio (vedi Via Mare 6/2004) con risultati eccellenti rispetto ai dati sperimentali.

Non è stato difficile stimare i carichi di progetto dal momento che i sistemi di timoneria devono sottostare a una prova di certificazione, i cui carichi sono precisamente fissati dalla ISO.

Sono state compiute molte simulazioni per valutare la laminazione generale e, in seguito, si è iniziato a rimuovere gli strati dove non risultavano indispensabili.

Infine la laminazione simulata è stata adattata a ciò che un operatore qualificato può realizzare in un lasso di tempo ragionevole.

Questa fase in realtà non finisce mai perché non esiste un modo per sapere in anticipo qual è la stratificazione

ing. There was a further option which we set up to explore: building the whole wheel in one go, without any secondary bondings. This option has greater difficulties since a complete wheel is almost totally closed, with only small holes in its center for the shaft coupling. The lamination process and the pressure on the walls are thus much more difficult to control than with an open mold.

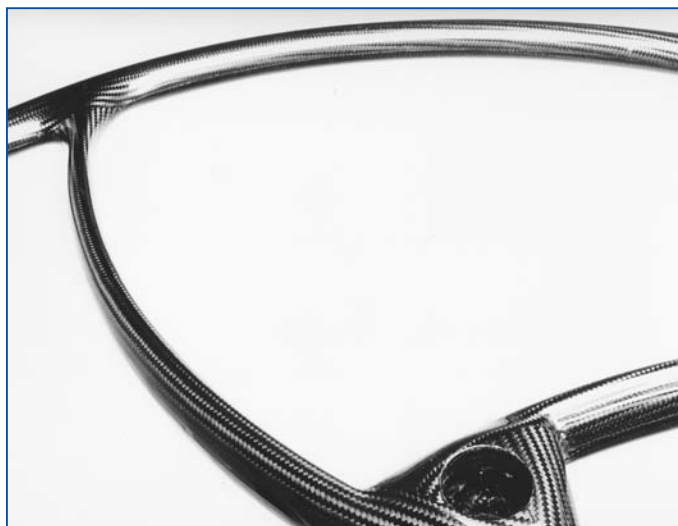
We foresaw a few possible methods to solve the production problems, but we were also careful in assuming they would work smoothly, since in our knowledge there were no wheels built in this way on the market. This option guaran-

possibility, or by excessive production costs, until a final configuration emerged.

Then we needed to estimate the strength of these designs. A few configurations had already been discarded because of macroscopic structural disadvantages, but then we had to analyze this in detail and establish the proper fibers layout.

Fortunately we had a good finite elements structural simulation software for composites in our inventory, so we could "play around" with numbers with no fear of huge bills to pay for a long optimization process. We already tested our HSH -Straus7 FEA package on a carbon fiber mast design

Ruota 90; ruota prodotta da Exit Engineering con diametro di 935 mm, versione del 2004. Il foro centrale di 40 mm per l'inserimento dell'albero può essere visualizzato sul mozzo. Tutti i tubi interni del sacco a vuoto devono entrare nel piccolo foro / Exit Engineering 935 mm diameter wheel, 2004 version. The 40 mm diameter central hole for the shaft coupling insert can be seen on the hub. All the inner tubes of the vacuum bag must go through this small hole



tees great weight reduction with the absence of joining flanges and the possibility to obtain a perfect surface finishing right out from the mold, without the painting needed to cover the glue lines, which can save further weight.

We started with an empty screen on our computers and fixed a few technological constraints on our design. The design process has been like a tennis game between our designers and the marketing people, with several proposals being rejected for aesthetic reasons, or by technical im-

(see Viamare 6/2004) and its results were excellent, compared to the experimental data. The load cases were easy to assess, since steering systems must withstand a certification, for which the loads are precisely established by ISO.

We performed a great number of simulations to find out the general lamination, and later we started to take off layers where they were not needed. Finally we adapted our simulated layout to something a skilled worker could do in a reasonable amount of time. This phase is really never end-