

CAPITOLO 15

L'ottimizzazione strutturale

15.1 Introduzione

Anche nell'ambito dell'ottimizzazione strutturale, da quando i primi programmi di calcolo hanno cominciato a rendere disponibili strumenti espressamente dedicati, i passi compiuti sono stati enormi. È chiaro che l'obiettivo, ambizioso, dell'ottimizzazione di una struttura è molto allettante e certamente interessa tanto il progettista di un dato prodotto quanto il fruitore finale del prodotto stesso.

Allo stato attuale possiamo individuare fundamentalmente tre categorie di ottimizzazione strutturale.

15.1.1 Ottimizzazione di taglia

L'ottimizzazione di taglia permette di ottenere i valori ottimali per certi parametri che descrivono una data struttura, come ad esempio le proprietà dei materiali, gli spessori degli elementi shell o le dimensioni caratteristiche delle sezioni degli elementi beam. Questa è storicamente la tipologia per cui sono stati mossi i primi passi. Va detto che, qualora fosse possibile esprimere tutte le grandezze caratteristiche in forma analitica, il raggiungimento della configurazione ottimale potrebbe essere ottenuto facilmente mediante le tecniche proprie della Programmazione Non Lineare (PNL), con le quali è possibile calcolare il minimo (o il massimo) vincolato di una funzione di più variabili. Chiaramente un approccio di questo tipo non può essere adottato in senso generale, in quanto tensioni e deformazioni sono calcolate in forma numerica da un codice FEM. Le metodologie impiegate in questo caso sono le più svariate e non ci soffermeremo su di esse. Basti sapere che con questo tipo di ottimizzazione strutturale si può ad esempio minimizzare la massa di organo nel rispetto di certi parametri geometrici e raggiungendo un determinato obiettivo di rigidità. Tali codici sono in grado generalmente di ottimizzare gli spessori degli elementi shell, le proprietà delle sezioni per gli elementi beam, trovare il miglior materiale e addirittura variare gli angoli di orientazione dei teli e la loro sequenza di impilamento (cfr. Capitolo 8) nel caso di strutture realizzate in materiale composito. Da quanto detto appare evidente che le strutture ottimizzabili con questa metodologia devono essere modellate con elementi beam o shell. In ogni caso la struttura oggetto di ottimizzazione è già definita nelle sue caratteristiche fondamentali (geometria complessiva).

15.1.2 Ottimizzazione di forma

L'ottimizzazione di forma è una metodologia per ottimizzare il peso e il comportamento delle strutture applicando delle variazioni alla loro geometria. Per esempio, pic-

chi locali di stress possono essere abbattuti modificando localmente le curvature. Anche in questo caso la struttura è già definita nella sua globalità. La differenza con il caso precedente è legata al fatto che il codice di ottimizzazione può intervenire, anche se in modo non drammatico, sulla geometria del pezzo, spostando i nodi del modello (morphing automatico degli elementi). In questo caso le strutture da ottimizzare possono anche essere modellate con elementi solidi. Con l'avvento di pre-processor parametrici in grado di gestire, quasi al pari di strumenti CAD, modifiche geometriche e di rimeshare in automatico il nuovo modello, l'ottimizzazione di forma può essere applicata con successo anche laddove fossero necessarie modifiche sostanziali alla morfologia del componente. Naturalmente se la geometria da utilizzare fosse esprimibile anche essa (così come i vincoli e gli obiettivi) in forma analitica, le tecniche della PNL potrebbero essere usate con successo anche per l'ottimizzazione di forma; anzi, a essere pignoli, prima dell'avvento dell'ottimizzazione topologica non si faceva distinzione tra ottimizzazione di forma e di taglia.

15.1.3 Ottimizzazione topologica

L'ottimizzazione topologica rappresenta l'ultima frontiera per quanto riguarda l'ottimizzazione delle strutture. La metodologia può, anzi, deve essere applicata fin dalle primissime fasi del progetto. Infatti, perché il codice possa lavorare, è necessario definire un volume dentro il quale il pezzo finale sarà racchiuso. Tale spazio è chiaramente limitato dall'ingombro e dalla funzionalità degli oggetti che stanno accanto all'organo in esame.

In linea del tutto teorica sarebbe sufficiente definire questo volume, il materiale con cui si vuole realizzare il pezzo, i punti di vincolo e di carico, le forze, le variabili di progetto, i vincoli di queste variabili e l'obiettivo e premere un tasto per ottenere la struttura ottimizzata per quella specifica funzione (le condizioni di carico possono anche essere più di una). Il principio di base è tutto sommato semplice: il codice parte dal volume pieno (che deve chiaramente essere meshato con elementi solidi) e applica carichi e vincoli, esegue il calcolo, valuta la strain energy che ottiene sul volume e agli elementi con strain energy bassa assegna per l'iterazione successiva un valore di "densità di rigidità" bassissimo; in questo modo, senza cancellare gli elementi dal modello, essi contribuiranno in modo trascurabile alla rigidità della struttura all'iterazione seguente. È così possibile che, durante il processo di ottimizzazione, alcuni elementi "muoiano" (bassa densità) per poi "risorgere" (densità normale). Quando il calcolo è giunto a convergenza è possibile plottare gli elementi sopra una certa soglia di densità: questa sarà la nostra struttura ottimale per quella o quelle condizioni di carico.

Dal punto di vista pratico chiaramente le cose non sono così semplici; ad esempio potrebbe essere necessario che alcune zone del volume restino invariate perché le si vuole in un ben determinato modo; oppure potrebbe essere necessario non avere materiale al di sotto di un certo spessore (ad esempio per ragioni tecnologiche); oppure ancora potrebbe accadere che il codice vada a creare forme che non possono poi essere ottenute in alcun modo. Tutti questi vincoli possono chiaramente essere trasmessi al programma di calcolo, ma talvolta può capitare di ottenere risultati inaspettati. L'ac-

coppiata ottimizzazione topologica-stampaggio 3D ha aperto recentemente nuovi orizzonti, in quanto con la tecnica DMLS si possono anche creare geometrie che contengono dei "vuoti chiusi", di fatto dando maggiore libertà agli ottimizzatori topologici.

Va poi detto che, una volta ottenuta la forma ottimale, essa va passata a un programma CAD per la sua ingegnerizzazione; e questo può presentare alcune difficoltà legate al fatto che il modello ottimizzato è costituito da elementi finiti e avrà generalmente un andamento "segmentato" che dovrà essere correttamente interpretato dal progettista. In questo Capitolo cerchiamo di illustrare attraverso un esempio come si dovrebbe procedere in un progetto che preveda l'ottimizzazione strutturale; lo faremo senza entrare troppo nei dettagli, ma cercando di dare delle linee guida.

15.2 Un caso pratico

Si voglia progettare un telaio per una monoposto da competizione che abbia la massima rigidità torsionale compatibilmente con un limite di massa dato (ad esempio determinato attraverso uno studio della dinamica del veicolo), un ingombro individuato in parte dai regolamenti e in parte da calcoli aerodinamici (CFD) e dei vincoli da rispettare (ad esempio i punti di fissaggio delle sospensioni e del motore). Tutti i vincoli geometrici individuano il cosiddetto Design Space, ossia il volume all'interno del quale la struttura può svilupparsi. Per il nostro esempio semplificato abbiamo la situazione della figura 15.1, dove chiaramente il recesso interno (generalmente regolamentato) servirà per il pilota, mentre le dimensioni esterne sono dettate dalle superfici aerodinamiche.

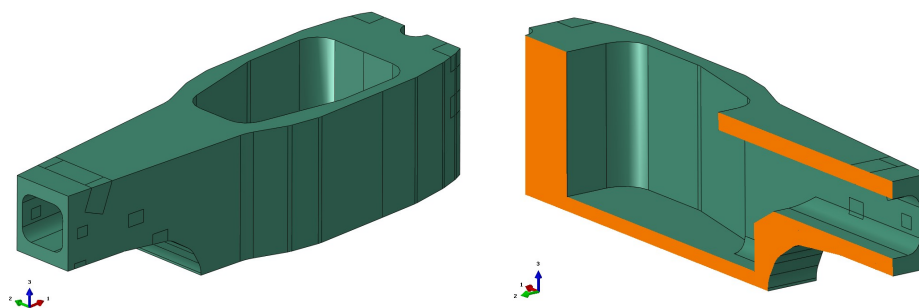


Figura 15.1. Design Space per un ipotetico telaio per monoposto da competizione. Avendo imposto come materiale un alluminio, la massa del Design Space è pari a 755 kg.

Siccome vogliamo evitare qualunque pregiudizio, dobbiamo essere pronti a implementare soluzioni "esotiche", non escludendo nemmeno una strutturata fresata dal pieno, visto che da un quasi pieno partiamo. La sola cosa ci sentiamo di imporre è il materiale con cui decidiamo di riempire il nostro Design Space: visto che vogliamo massimizzare la rigidità e avere una massa al di sotto di un certo obiettivo, scegliamo il materiale con il migliore rapporto modulo di Young/densità, e cioè l'alluminio (torneremo più avanti sui materiali compositi). Procederemo nel seguente modo: