

CAPITOLO 10

Le verifiche di resistenza

10.1 Introduzione

Una volta che il modello sia stato validato, almeno dal punto di vista numerico, come visto nel Capitolo 9, bisogna procedere alla verifica di resistenza della struttura.

In sostanza per ogni condizione di carico, per ogni punto ritenuto critico, per ogni giunzione e/o organo di collegamento è necessario stabilire il “coefficiente di sicurezza” o il suo omologo “margine di sicurezza”; vedremo tra poco che la differenza tra i due non è solamente di tipo numerico ma, pur indicando sostanzialmente la stessa cosa, e cioè la capacità o l’incapacità della struttura di sopravvivere ai carichi che la sollecitano, anche concettuale. Generalmente i valori minimi di questi coefficienti variano in funzione dell’esperienza dello strutturista, del tipo di struttura che si sta progettando, del livello di incertezza che grava sulle condizioni al contorno (ad esempio carichi noti solo con scarsa precisione o basati su stime più o meno attendibili), dell’incertezza sul comportamento meccanico dei materiali impiegati; a volte il valore minimo può essere imposto da un Capitolato di fornitura o da normative, che dipendono molto dal settore in cui si sta operando. Proprio per questi motivi non possiamo qui entrare troppo nel dettaglio, ma cercheremo di dare una visione generale e degli spunti di riflessione in merito all’integrità delle strutture.

Normalmente il coefficiente di sicurezza (CS) viene calcolato come il rapporto tra il valore ammissibile e il valore applicato all’organo oggetto dell’indagine: nel caso di parti di struttura sarà solitamente un rapporto tra sollecitazioni, mentre per i rivetti, ad esempio, potrebbe essere un rapporto tra forze. Comunque sia diremo che:

$$CS = \frac{\text{Ammissibile}}{\text{Applicato}}$$

Per quanto riguarda il margine di sicurezza (MS) esso viene calcolato nel seguente modo:

$$MS = \frac{\text{Ammissibile}}{\text{Applicato}} - 1$$

È chiara anche la relazione che intercorre tra CS e MS:

$$MS = CS - 1$$

Meno chiara è appunto la differenza concettuale: specialmente in ambito aeronautico il coefficiente di sicurezza viene applicato rispetto ai carichi "limite", ossia alle massime forze che le strutture dovrebbero vedere durante le normali operazioni, men-

tre si calcola il margine di sicurezza per i cosiddetti carichi "ultimi", cioè per le forze che si manifestano in condizioni particolari e/o di emergenza (manovre fuori dall'ordinario, tipo atterraggi di emergenza) e che possono portare le strutture oltre il loro limite elastico (cfr. Capitolo 13).

Data la relazione che li lega, spesso si tende a utilizzare l'uno o l'altro indifferentemente, e questo può creare una certa confusione, visto che lo spartiacque per il CS è 1.0 (< 1.0 si rompe, > 1.0 va bene) mentre per il MS il numero discriminante è lo 0. Quanto sia necessario stare sopra questi limiti dipende dai fattori visti poche righe più sopra. Forse proprio per limitare i possibili fraintendimenti, in tempi recenti anche il mondo aeronautico sta tendendo a usare il CS sia per le condizioni "limite" sia per le condizioni "ultime". In entrambi i casi, comunque, quando siamo al di sopra dei limiti inferiori, i due coefficienti indicano quale sia la "riserva" che la struttura ha in quel punto prima di raggiungere il suo limite, che può essere lo snervamento (carichi limite), ma anche la rottura (carichi ultimi).

Nei paragrafi seguenti ci occuperemo delle verifiche statiche e di quelle a fatica, partendo dal presupposto che i dati utilizzati siano quelli forniti dal calcolo a elementi finiti.

10.2 La verifica statica per i materiali omogenei e isotropi

10.2.1 Le parti di struttura continue

Sulle strutture costituite da materiali omogenei e isotropi la verifica statica oggi rappresenta raramente un problema, a causa dell'utilizzo di criteri di resistenza consolidati da tempo e ripetutamente validati da prove sperimentali.

Il criterio che va per la maggiore per i materiali duttili è quello basato sulla tensione equivalente di Von Mises σ_{VM} ; questo "numero", come abbiamo visto nel Capitolo 9, è una combinazione delle tensioni principali, ma può anche, ovviamente, essere espresso in funzione di tutte le componenti del tensore degli sforzi. Possiamo pertanto avere le due seguenti relazioni valide per il calcolo della σ_{VM} :

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - \sigma_I \cdot \sigma_{II} - \sigma_{II} \cdot \sigma_{III} - \sigma_{III} \cdot \sigma_I}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2 + 3 \cdot \tau_{yz}^2 + 3 \cdot \tau_{zx}^2 - \sigma_{xx} \cdot \sigma_{yy} - \sigma_{yy} \cdot \sigma_{zz} - \sigma_{zz} \cdot \sigma_{xx}}$$

Solitamente i codici di calcolo determinano direttamente la σ_{VM} , mentre altre volte sono i post-processor che, a partire dal tensore degli sforzi, valutano la σ_{VM} .

Comunque sia, una volta nota la σ_{VM} , è possibile calcolare in tutti i punti della struttura il coefficiente di sicurezza. La σ_{VM} costituirà la sollecitazione applicata, mentre la sollecitazione ammissibile dipenderà dal materiale: generalmente si assume il valore di snervamento dello stesso in quanto le deformazioni residue, dovute a plasticizzazioni più o meno estese, non sono tollerate per le condizioni limite. Solo in casi ecce-