



19. Aviorimesse di Orvieto e Orbetello, *mesh* ad elementi finiti e deformate delle aviorimesse. Modelli numerici di Marco Simoncelli.

Aspetti relativi alla modellazione numerica

Marco Simoncelli

Le aviorimesse oggetto della mostra sono delle opere estremamente complesse, caratterizzate da un elevato grado di iperstaticità, che ne rende difficile o praticamente impossibile la risoluzione manuale. La concezione strutturale tipica di Pier Luigi Nervi porta ad avere un percorso di trasferimento dei carichi molto intuitivo, riassumibile in tre parole: superficie-linea-punto. Infatti ipotizzando un carico che insiste sulla parte superiore della volta, esso viene a scaricarsi sulla trave di bordo, che trasferisce il carico agli speroni inclinati sui quali è appoggiata. Gli speroni infine, portano il carico alle fondazioni. Lo studio dettagliato dell'aviorimessa di Orbetello (o della prima serie) rappresenta il punto di partenza per la progettazione delle successive. Le ipotesi di calcolo semplificate, sebbene raffinate e staticamente valide, non potevano rispecchiare dettagliatamente il comportamento di quest'opera e, per questo motivo, Nervi deciderà di affidare la realizzazione di un modello in scala al Laboratorio Prove e Materiali del Politecnico di Milano, in modo da poter affiancare ai suoi calcoli anche risultati sperimentali (opportunitamente validati ed interpretati).

Questo modo di lavorare, allora innovativo, rispecchia appieno quello che viene fatto al giorno d'oggi con il computer ed i software di calcolo. In particolare, nella progettazione moderna i calcoli teorici/manuali sono affiancati a metodi di calcolo matematici, come ad esempio le ben note *mesh* ad elementi finiti, in grado di fornire risultati accurati per gran parte dei problemi strutturali. Nello studio delle aviorimesse si è scelto di realizzare due differenti modellazioni ad elementi finiti: (1) *mesh* di tipo tridimensionale (*solid*) che ricalcano dettagliatamente le struttu-

re nello spazio ma sono molto onerose dal punto di vista computazionale e (2) *mesh* semplificate, realizzate con elementi monodimensionali (*beam*), ottenute isolando le volte dal complesso, schematizzando le travi a linea d'asse e sostituendo i piedritti con appoggi a terra. La sostanziale differenza tra le due tipologie di aviorimesse sta nel fatto che la prima è completamente gettata in opera mentre la seconda è costituita da elementi prefabbricati e presenta solo alcuni archi di rinforzo gettati. A livello computazionale, questa differente concezione si è tramutata in una modellazione più semplice per la prima aviorimessa e più complessa per la seconda, dove ogni elemento prefabbricato è stato modellato a sé e collegato ai successivi attraverso elementi rigidi, atti a simulare i nodi tronco-conici di collegamento. Il volume totale della volta della prima serie è pari a 460 m<sup>3</sup>, mentre è di 300 m<sup>3</sup> nella seconda e ne derivano dei pesi molto elevati, pari a circa 1.150 e 750 tonnellate, rispettivamente. Si è effettuata un'analisi strutturale nella quale oltre ai carichi permanenti, dati da peso proprio, peso del portone esterno e del manto di copertura, si sono considerati i carichi accidentali quali vento e neve sulla copertura. I risultati ottenuti sono riportati sinteticamente.

*Aviorimessa della prima serie.* Si evidenzia come in questa struttura, la parte frontale dove è situata la struttura reticolare risulta la più deformabile. Nei tre lati restanti, il notevole numero di vincoli alla quale si appoggia la volta garantisce una deformazione contenuta e non si riscontrano deformazioni importanti. Il travone frontale posto sopra la reticolare irrigidisce la reticolare stessa contribuendo a ridistribuire i carichi sul pilastro centrale e sui due laterali. Analizzando l'azione assiale negli archi si evidenzia come essi siano prevalentemente sottoposti ad uno stato di compressione. Le azioni più elevate sono concentrate nella parte terminale degli archi e nei cordoli esterni che confluiscono nell'appoggio centrale frontale. Le tensioni di trazione sono concentrate maggiormente nella parte centrale del travone frontale e nei cordoli esterni.

*Aviorimessa della seconda serie.* Il comportamento di questa aviorimessa è sensibilmente differente, la deformata risulta essere simmetrica e si evidenzia che, nonostante la diminuzione del peso dell'opera, lo spostamento massimo raggiunto è più elevato

rispetto a quello riscontrato nell'altra opera. Gli archi gettati in opera rispondono molto bene, irrigidendo la volta in quelle zone, dove nell'aviorimessa del primo tipo si erano individuate le zone più deformabili. Questi archi sono quelli che subiscono le più elevate sollecitazioni e proprio prevedendo questa situazione Nervi li ha pensati e progettati con sezione piena. L'inserimento della trave reticolare di bordo che corre lungo tutto il perimetro della struttura è essenziale per la ridistribuzione dei carichi ai pilastri e per contenere le deformate della volta. La rimozione degli appoggi dal lato posteriore e laterali ha comportato una più complessa ridistribuzione delle azioni interne negli archi ed un sensibile aumento delle tensioni massime riscontrate.

Entrambe le opere analizzate mostrano un ottimo comportamento strutturale, e il passaggio dall'aviorimessa della prima serie a quella della seconda, ci sottolinea come, con un'attenta progettazione, si riesca ad ottimizzare il rapporto costo/efficienza delle strutture.