



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO

Department of Industrial Engineering

Doctoral Dissertation

Doctoral Program in Innovative Engineering Technologies for Industrial
Sustainability - IETIS (XXXVIII cycle)

Advanced Approach for Vibroacoustic and Aeroacoustic Analysis of Piaggio P180 Avanti

By

Carmen Brancaccio

Supervisors:

Prof. Roberto Citarella

Dr. Eng. Luigi Federico

Abstract

Turboprop aircraft cabin noise is strongly influenced by low frequency tonal excitation associated with the propeller Blade-Passage Frequency (BPF) and its harmonics. In this frequency range, the interior acoustic field is governed by the interaction between fuselage structural modes, cabin acoustic modes and fluid–structure coupling effects, leading to a highly receiver-dependent response. The accurate prediction of these mechanisms requires deterministic numerical models able to represent both the structural dynamics of the fuselage and the acoustic behaviour of the enclosed cabin cavity.

This thesis develops a high-fidelity coupled structural–acoustic Finite Element (FE) model of the Piaggio P180 Avanti EVO cockpit–cabin fuselage assembly for cabin noise prediction up to the third BPF harmonic of the reference propeller operating condition. In addition to the construction of the numerical model, the work proposes a modal-based mesh-sizing strategy for the structural domain, where representative fuselage subcomponents are dynamically characterised and their modal behaviour is used, with reference to the maximum frequency of interest, to define appropriate element sizes. The acoustic mesh is defined from wavelength-based criteria and made compatible with the structural discretisation along the fluid–structure interfaces. The modelling framework is assessed through a progressive verification and validation procedure. The structural model shows satisfactory correlation with the available experimental modal data, while the acoustic cavity model is successfully verified against analytical solutions for an equivalent rigid-walled cylindrical cavity. The coupled structural–acoustic response is then validated against full-scale laboratory acoustic test data obtained on a Piaggio P180 Avanti EVO fuselage barrel.

The validation considers both a body-in-white configuration and a trimmed configuration with acoustic absorbing material applied to the cabin inner surfaces. For the untreated configuration, a sensitivity analysis on the effective loaded area is performed to assess the influence of the equivalent representation of the experimental acoustic source. A further sensitivity study investigates the effect of the acoustic impedance assigned to the closing panels of the cavity. For the trimmed configuration, the absorbing material is represented through equivalent impedance boundary conditions reconstructed from measured absorption data. In the frequency range considered for the numerical–experimental comparison, from 80 Hz to 250 Hz in one-third octave bands, the main experimental Noise Reduction (NR) trends are reproduced, with the best agreement observed at receiver locations close to the excitation region. At these locations, the predicted NR values generally fall within the sensitivity envelope defined by the equivalent loaded area variations. Larger discrepancies occur at more distant receivers, where the response is more strongly affected by reflected-field contributions and by uncertainties in the representation of the experimental test article, particularly the cabin floor.

The developed framework provides a physically consistent numerical basis for low-frequency cabin noise prediction in the Piaggio P180 Avanti EVO fuselage. It also supports future studies involving realistic propeller-induced excitation, cabin noise reduction strategies and the extension towards passenger centred psychoacoustic indicators.

Keywords: Piaggio P180 Avanti EVO; turboprop cabin noise; structural–acoustic coupling; finite element method; noise reduction; modal validation; acoustic treatment.

Sommario

Il rumore in cabina degli aeromobili turboelica è fortemente influenzato da eccitazioni tonali a bassa frequenza associate alla frequenza di passaggio di pala (BPF) e alle sue armoniche. In questo intervallo di frequenze, il campo acustico interno è governato dall'interazione tra i modi strutturali della fusoliera, i modi acustici della cabina e gli effetti di accoppiamento fluido-struttura, dando luogo a una risposta fortemente dipendente dalla posizione del ricevitore. La previsione accurata di tali meccanismi richiede modelli numerici deterministici in grado di rappresentare sia la dinamica strutturale della fusoliera sia il comportamento acustico della cavità interna della cabina.

Questa tesi sviluppa un modello agli elementi finiti accoppiato strutturale-acustico ad alta fedeltà dell'insieme cabina passeggeri-cabina piloti del Piaggio P180 Avanti EVO, finalizzato alla previsione del rumore in cabina fino alla terza armonica della BPF. Oltre alla costruzione del modello numerico, il lavoro propone una strategia di dimensionamento della mesh strutturale basata sull'analisi modale, in cui sottocomponenti rappresentativi della fusoliera vengono caratterizzati dinamicamente e il loro comportamento modale viene utilizzato, con riferimento alla massima frequenza di interesse, per definire dimensioni appropriate della mesh. La mesh acustica, invece, è definita sulla base di criteri legati alla lunghezza d'onda ed è resa compatibile con la discretizzazione strutturale lungo l'interfaccia fluido-struttura.

Il modello numerico è valutato attraverso una procedura progressiva di verifica e validazione. Il modello strutturale mostra una correlazione soddisfacente con i dati modali sperimentali disponibili, mentre il modello della cavità acustica viene verificato con successo rispetto a soluzioni analitiche relative a una cavità cilindrica equivalente con pareti rigide. Successivamente, la risposta accoppiata strutturale-acustica viene validata mediante dati sperimentali acus-

tici di laboratorio su scala reale, ottenuti su un barrel di fusoliera del Piaggio P180 Avanti EVO.

La validazione considera sia una configurazione body-in-white sia una configurazione trimmed, con materiale fonoassorbente applicato alle superfici interne della cabina. Per la configurazione non trattata, viene eseguita un'analisi di sensibilità sull'area caricata efficace, al fine di valutare l'influenza della rappresentazione equivalente della sorgente acustica sperimentale. Un'ulteriore analisi di sensibilità indaga l'effetto dell'impedenza acustica assegnata ai pannelli di chiusura della cavità. Per la configurazione trimmed, il materiale fonoassorbente è rappresentato mediante condizioni al contorno di impedenza equivalente ricostruite a partire da dati sperimentali di assorbimento.

Nell'intervallo di frequenze considerato per il confronto numerico-sperimentale, da 80 Hz a 250 Hz in bande di un terzo d'ottava, l'andamento sperimentale della riduzione di rumore (NR) è ben riprodotto, con il miglior accordo osservato nelle posizioni dei ricevitori prossime alla regione di eccitazione. In tali posizioni, i valori di NR previsti ricadono generalmente all'interno dell'involuppo di sensibilità definito dalle variazioni dell'area caricata equivalente. Scostamenti più marcati si osservano in corrispondenza dei ricevitori più distanti, dove la risposta è maggiormente influenzata dai contributi del campo riflesso e dalle incertezze nella rappresentazione dell'articolo di prova sperimentale, in particolare del pavimento della cabina.

Il lavoro sviluppato fornisce una base numerica fisicamente consistente per la previsione del rumore, a bassa e media frequenza, nella fusoliera del Piaggio P180 Avanti EVO. Esso può supportare studi futuri riguardanti l'eccitazione realistica indotta dall'elica, strategie di riduzione del rumore in cabina e l'estensione verso indicatori psicoacustici centrati sul passeggero.

Parole chiave: Piaggio P180 Avanti EVO; rumore in cabina di aeromobili turboelica; accoppiamento strutturale-acustico; metodo degli elementi finiti; riduzione del rumore; validazione modale; trattamento acustico.