

## COLLAUDO VIRTUALE DI UNA CAMERA RIVERBERANTE SECONDO LA NORMA UNI EN ISO 3741:2010

Cristina Marescotti (1), Francesco Pompoli (2), Paolo Bonfiglio (3)

1) Dipartimento di Ingegneria – Università degli Studi di Ferrara, E-mail: mrcst@unife.it

2) Dipartimento di Ingegneria – Università degli Studi di Ferrara, E-mail: pmpfnc@unife.it

3) Dipartimento di Ingegneria – Università degli Studi di Ferrara, E-mail: bnpsb@unife.it

### SOMMARIO

Nel presente articolo vengono illustrati i risultati di simulazioni FEM del campo acustico all'interno di una camera riverberante, finalizzate ad un collaudo virtuale secondo le modalità previste dalla norma UNI EN ISO 3741:2010 [1] per la misura della potenza sonora in camera riverberante. I risultati numerici vengono confrontati con i dati sperimentali ottenuti durante il collaudo della stessa camera riverberante, riportati in [2].

#### 1. La camera riverberante oggetto di studio

La camera riverberante del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara presenta un volume di circa 252 m<sup>3</sup>, una geometria irregolare a pareti non ortogonali e 4 grandi diffusori curvi appesi al soffitto (ciascuno di area pari a 4,35 m<sup>2</sup>).

La camera riverberante è stata collaudata sperimentalmente secondo la norma UNI EN ISO 3741:2010 e UNI EN ISO 354:2003, ed i relativi risultati sono riportati in [2].

Scopo del presente lavoro è quello di simulare in un modello agli elementi finiti il campo acustico all'interno della camera e verificare la possibilità di eseguire un collaudo virtuale della camera rispetto alla norma [1].

#### 2. Procedura di collaudo secondo la norma UNI EN ISO 3741:2010, annesso D

L'Annesso D di [1] descrive la procedura di qualifica per le misure di potenza sonora di sorgenti di rumore che contengono componenti significative di frequenze discrete. La qualifica secondo questa procedura consente di effettuare le misure di potenza sonora con una sola posizione sorgente e senza la verifica dello scarto tra i punti di misura, che spesso determina un incremento delle posizioni sorgente e conseguenti tempi di misura molto lunghi.

Tale procedura prevede di eccitare la camera con una serie di toni puri (prospetto D.2 norma [1]) emessi da un altoparlante collocato nella posizione sorgente da qualificare, mentre i livelli sonori sono rilevati in sei posizioni microfoniche o dal microfono rotante a traiettoria continua. La sorgente ha caratteristiche normate e deve essere testata in ambiente semianecoico per determinarne sia l'idoneità che la risposta in frequenza.

Una volta acquisito il livello di pressione sonora, viene calcolato lo scarto tipo  $s_f$ , definito nel paragrafo D.6 norma [1] e confrontato con i valori limite.

Nel caso della camera riverberante oggetto dello studio, il collaudo è risultato negativo sia per la misura puntuale con 6 microfoni che con il microfono rotante.

#### 3. Modello FEM della camera riverberante

La modellazione FEM è stata effettuata con il software Comsol Multiphysics; è stata importata nel modello la geometria tridimensionale della camera, comprensiva dei diffusori acustici; l'aria interna alla camera riverberante è stata discretizzata con una mesh con elementi tetraedrici per una frequenza massima di simulazione pari a 560 Hz (frequenza superiore del terzo

di ottava di 500 Hz). Tale frequenza limite comporta un tempo di calcolo di 18 ore per ciascuna configurazione simulata.

Le condizioni al contorno implementate sono le seguenti:

- il volume di aria simulato, racchiuso all'interno dell'ambiente di misura, viene caratterizzato da densità  $\rho_0$  e velocità del suono  $c_0$  in aria, considerate alla temperatura di 19°C (la stessa del collaudo sperimentale);
- condizione di impedenza superficiale imposta alle pareti: per determinare tale grandezza, relativa alla camera riverberante vuota, viene utilizzata l'equazione riferita al coefficiente di assorbimento per incidenza diffusa, definito all'interno della norma UNI EN ISO 10534-2:2001 [3]. La formula viene ulteriormente semplificata, considerando valide le ipotesi di ambiente debolmente smorzato (impedenza indipendente dall'angolo di incidenza e di valore elevato), in modo tale da considerare nulla la parte immaginaria dell'impedenza acustica normalizzata. L'equazione diventa quindi come segue:

$$(1) \quad \alpha_{st} = 8 \frac{1}{z'} \left[ 1 - \frac{1}{z'} \ln(1 + 2z' + z'^2) \right] \quad [-]$$

dove:

$\alpha_{st}$ : coefficiente di assorbimento sonoro per incidenza diffusa per materiali localmente reagenti [-];

$z' = R/\rho_0 c_0$ : parte reale dell'impedenza acustica normalizzata [-].

Tramite la misura del tempo di riverberazione a camera vuota, viene quindi determinato il coefficiente di assorbimento per incidenza diffusa  $\alpha_{st}$  (utilizzando la procedura di calcolo stabilita nella UNI EN ISO 354:2003 [4]), dal quale viene infine calcolato l'andamento dell'impedenza acustica superficiale, applicata in modo uniforme su tutti i contorni del modello 3D;

- sorgente sonora: essa viene simulata considerando una sorgente monopolo puntiforme di potenza costante e unitaria (1 W a tutte le frequenze);
- punti di misura: sono stati calcolati i livelli di pressione sonora in sei posizioni microfoniche per la valutazione per punti discreti e su 74 punti appartenenti ad una traiettoria circolare di raggio 1.65 m per la valutazione con microfono rotante.

#### 4. Risultati delle simulazioni FEM

La qualifica numerica viene svolta secondo due differenti setup di misura (6 posizioni microfoniche discrete e microfono a traiettoria continua) e considerando diversi andamenti del

tempo di riverberazione a camera vuota: inizialmente è stato considerato un andamento del  $T_{60}$  pari a quello sperimentale, mentre successivamente si sono simulate condizioni di campo più e meno riverberante per analizzare l'effetto di tale parametro sui risultati della procedura di collaudo. La norma [1] suggerisce infatti un tempo di riverberazione contenuto per smorzare il comportamento modale, con un valore limite inferiore pari a  $V/S$  (0,95 s per la camera oggetto di studio).

Le condizioni di riverberazione simulate sono relative ad un dimezzamento e ad un raddoppio rispetto al tempo di riverberazione sperimentale della camera (figura 1).

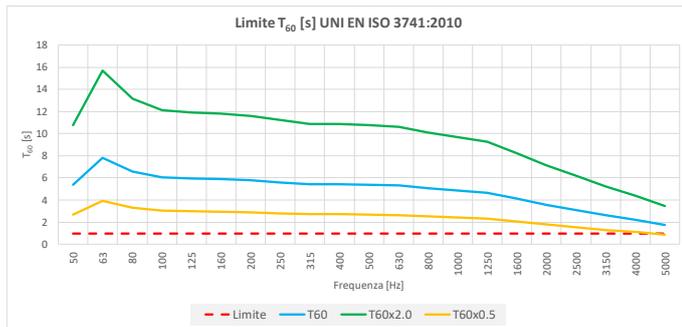


Figura 1 – Andamenti del tempo di riverberazione  $T_{60}$  simulati e confronto con il valore limite inferiore imposta da norma (paragrafo 5.3 della [1])

In figura 2, vengono riportati i confronti tra i differenti andamenti numerici e l'andamento sperimentale per il setup di misura costituito da 6 posizioni microfoniche discrete, mentre in figura 3 vengono riportati i confronti ottenuti per il microfono rotante a traiettoria continua.

In entrambi i casi c'è una buona corrispondenza tra i risultati sperimentali e quelli numerici ottenuti imponendo il  $T_{60}$  sperimentale. In tutti i casi il collaudo risulta negativo, essendo le curve dello scarto sempre superiori alla curva limite.

Variando il tempo di riverberazione si nota che una sua diminuzione riduce lo scarto tipo  $s_f$  a tutte le frequenze: per la configurazione a 6 posizioni microfoniche discrete, la camera rientra entro i limiti alle frequenze di 125 Hz e 160 Hz, mentre per la configurazione con microfono rotante, rientra entro i limiti nel range in frequenza tra 160 e 500 Hz. All'aumentare del tempo di riverberazione, lo scarto tipo  $s_f$  peggiora notevolmente, soprattutto nei terzi di ottava inferiori, in cui si ha un campo sonoro caratterizzato da un minor numero di modi dell'ambiente di misura.

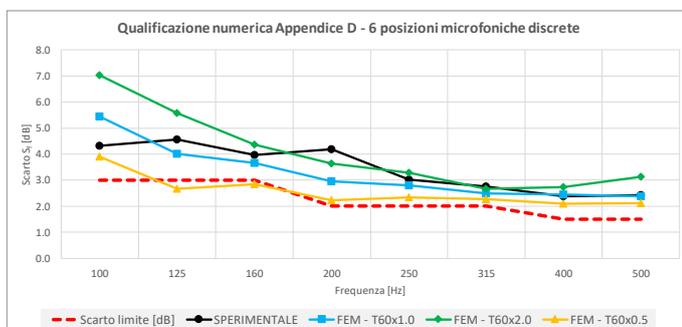


Figura 2 – Qualificazione numerica Appendice D: confronto al variare delle condizioni al contorno per la configurazione con 6 posizioni microfoniche discrete.

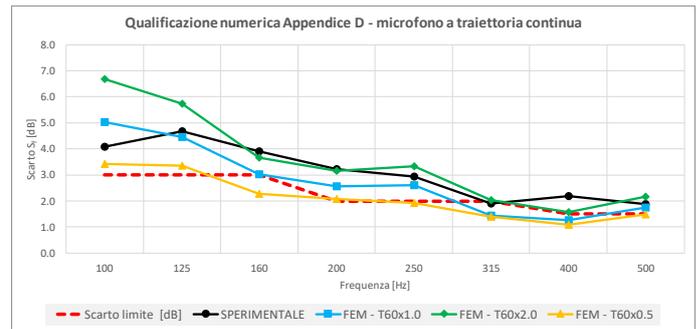


Figura 3 – Qualificazione numerica Appendice D: confronto al variare delle condizioni al contorno per la configurazione con microfono rotante a traiettoria continua.

## 5. Conclusioni

Nel presente articolo viene riportato il confronto effettuato tra la qualifica sperimentale e quella numerica della camera riverberante dell'Università di Ferrara. La procedura indagata viene descritta all'interno dell'Appendice D della norma UNI EN ISO 3741:2010 [1]. Le curve relative allo scarto  $s_f$  mostrano un buon accordo, con una differenza massima pari a 1.2 dB alla frequenza di 200 Hz per i 6 microfoni e di 0.9 dB alla frequenza di 100 Hz per il microfono a traiettoria continua.

Con entrambe le procedure il responso del collaudo virtuale è analogo a quello sperimentale; le principali approssimazioni, che determinano le differenze rilevate sono imputabili alle condizioni al contorno imposte nel modello (impedenza costante per ciascun terzo di ottava) ed ad una rappresentazione semplificata della sorgente sonora come sorgente puntiforme a potenza sonora costante.

L'analisi effettuata al variare dell'impedenza acustica superficiale delle pareti, mostra come al diminuire del tempo di riverberazione (aumento dell'assorbimento dell'ambiente), lo scarto tipo  $s_f$  si riduca, rientrando, per determinate frequenze, all'interno dei valori limite. Risulta quindi confermata l'indicazione della norma di limitare la riverberazione del campo acustico per laboratori dedicati alla misura della potenza sonora: per rimanere all'interno delle specifiche previste dall'annesso D risulta necessario avere tempi di riverberazione inferiori a 3 secondi rendendo incompatibile questo laboratorio con una camera riverberante per la misura dell'assorbimento acustico.

In conclusione, le simulazioni FEM risultano essere un valido strumento da utilizzare in fase di progettazione di una camera riverberante per misure di potenza sonora secondo la norma UNI EN ISO 3741:2010, anche se è da notare che per una simulazione affidabile è necessario conoscere il tempo di riverberazione in frequenza, poiché da tali valori vengono calcolate le condizioni al contorno del modello FEM.

## 6. Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 3741:2010, *Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora. Metodo di laboratorio in camera riverberante.*
- [2] Pompoli F., Bonfiglio P., Marescotti C., *Collaudo acustico della nuova camera riverberante dell'Università di Ferrara*, 44° Convegno Nazionale AIA, Pavia 2017.
- [3] UNI EN ISO 10534-2:2001, *Acustica – Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza – Metodo della funzione di trasferimento.*
- [4] UNI EN ISO 354:2003, *Acustica - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante.*