

Viaggio nei Laboratori di Acustica: Università di Napoli Federico II

Raffaele Dragonetti^{a*} | Elio Di Giulio^a | Marialuisa Napolitano^a | Rosario Romano^a |
Francesco Pompili^b

^a Dipartimento di Ingegneria Industriale,
Università degli Studi di Napoli Federico II,
Piazzale Tecchio, 80, 80125 Napoli

^b Dipartimento di Ingegneria,
Università degli Studi di Ferrara,
Via Saragat, 1, 44121 Ferrara

* Autore di riferimento:
dragonet@unina.it

Ricevuto: 9/7/2024

Accettato: 9/7/2024

DOI: 10.3280ria2-2024oa18872

ISSN: 2385-2615

In questo articolo viene presentato il Laboratorio di Acustica dell'Università Federico II di Napoli, descrivendone la storia, le strutture, la strumentazione, le attività di ricerca e trasferimento tecnologico e le principali collaborazioni.

Parole chiave: laboratorio di acustica, Università di Napoli, termoacustica, sound quality, aeroacustica

Acoustic Laboratory Tour: University of Naples Federico II

This article presents the Acoustics Laboratory of the Federico II University of Naples, describing its history, structures, instrumentation, research and technological transfer activities and the main collaborations.

Keywords: Acoustics Laboratory, University of Naples, thermoacoustics, sound quality, aeroacoustics

1 | Introduzione

Con questo articolo cominciamo un viaggio a tappe attraverso i Laboratori di Acustica che operano in Italia, siano essi appartenenti ad Università, Politecnici, Enti di Ricerca pubblica oppure Laboratori privati. Ogni contributo riguarnerà un singolo laboratorio del quale proveremo a raccontare la storia, le strutture e apparecchiature presenti, le principali attività di ricerca e di servizio alle imprese. L'obiettivo è quello di creare una fotografia aggiornata della vasta dotazione di strumentazione e strutture votate all'Acustica presenti nel nostro Paese e di favorire la sinergia tra gruppi di ricerca e ed il trasferimento tecnologico tra laboratori e imprese.

Il viaggio parte dal Laboratorio di Acustica dell'Università di Napoli Federico II che ho invitato per il primo contributo e proseguirà presso i tanti laboratori di acustica nel nostro territorio.

2 | La storia del laboratorio

Il Laboratorio di Acustica del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Napoli Federico II, di seguito denominato LAD, è attivo dalla fine degli anni Sessanta del secolo scorso quando fu realizzata la camera semi-anechoica, attualmente esistente ed in uso, con dimensioni libere interne di 3,20 m x 3,90 m in pianta ed un'altezza di 2,45 m. La sua progettazione e collaudo costituì l'argomento della tesi di laurea del prof. Carmine Ianniello, in seguito responsabile del laboratorio fino al 2013 e Presidente dell'AIA dal 1998 al 2001.

La dotazione strumentale iniziale del laboratorio era costituita da apparecchiature della General Radio nonché da alcuni altoparlanti e un generatore normalizzato di calpestio.

Poco dopo fu acquisito il primo tubo ad onde stazionarie della Brüel&Kjær tipo 4002 e, nella prima metà degli anni settanta, in seguito all'intensificazione delle attività di ricerca, buona parte della precedente dotazione strumentale fu sostituita e integrata con apparecchiature B&K (microfoni, preamplificatori, amplificatori di misura, generatori di segnale, calibratori, registratore grafico, banco di filtri di bande ottave e terzi, analizzatore statistico elettromeccanico e tavolo rotante), nonché con un classico registratore di misura a nastro magnetico portatile Nagra-Kudelski IV SJ per registrazioni calibrate in campo. Attualmente la dotazione strumentale del LAD è stata significativamente integrata ed ampliata, adattandola ai temi di ricerca, che verranno illustrati di seguito. Attualmente lavorano presso il LAD i professori Rosario Aniello Romano e Raffaele Dragonetti, la ricercatrice Marialuisa Napolitano e l'assegnista di ricerca Elio Di Giulio. Le attrezzature del LAD vengono anche impiegate per lo svolgimento di tesi di laurea nell'ambito degli insegnamenti curriculari di "Acustica Applicata" e "Acustica Architettonica ed Edilizia" impartiti, rispettivamente, per i corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica e Ingegneria Edile, nonché nell'ambito di diversi corsi tematici presso il corso di dottorato in Ingegneria Industriale e numerosi seminari di approfondimento.

3 | Principali linee di ricerca

Le principali linee di ricerca, che negli ultimi anni ha visto coinvolto il LAD, si sono allineate alle richieste del settore dell'edilizia e dell'industria. Esse si diversificano essenzialmente in:

1. valutazione della qualità acustica degli ambienti confinati e degli spazi aperti;

- analisi della qualità acustica del rumore emesso dai prodotti industriali, con particolare attenzione al settore automotive;
- analisi, modellazione e misurazione delle prestazioni acustiche di sistemi per il controllo del rumore, tradizionali ed innovativi;
- analisi e modellazione di sorgenti aeroacustiche;
- analisi, modellazione e misurazione di dispositivi termoacustici.

Nel seguito verranno brevemente descritte le attività svolte in questi settori.

3.1 | Valutazione della qualità acustica degli ambienti confinati e degli spazi aperti

In questo ambito il LAD è stato coinvolto in indagini metrologiche in diversi teatri d'opera italiani (Teatro di San Carlo, Teatro dell'Opera di Roma), auditori (Auditorium RAI di Napoli, Auditorium Oscar Niemeyer di Ravello) nonché teatri antichi all'aperto (Teatro Grande e Teatro Odeon di Pompei, Teatro di Segesta) [1]. Le indagini metrologiche sono state condotte mediante codici di calcolo opportunamente sviluppati e, in particolare, integrati con tecniche di acquisizione ed elaborazione del segnale idonee a ridurre l'influenza della rumorosità di fondo.

Il LAD è, inoltre, attrezzato per l'esecuzione di valutazioni di calcolo basate sull'utilizzo di tecniche numeriche FEM e di modelli fondati sulle ipotesi dell'acustica geometrica.

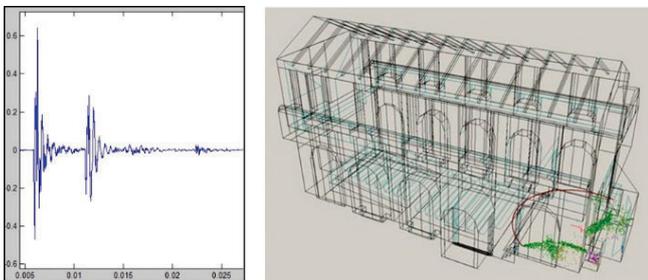


Fig. 1 – Esempi di misura della risposta impulsiva e di valutazione del suono in particolari ambienti chiusi

Examples of impulse response measurement and sound assessment in particular indoor environments

3.2 | Analisi della qualità acustica del rumore emesso dai prodotti industriali

La qualità del suono emesso da un qualsiasi prodotto industriale rappresenta un'imprescindibile caratteristica che esso deve avere prima di essere immesso sul mercato. Sebbene la principale richiesta sia quella di limitare il rumore che esso emette per ovvi problemi di inquinamento acustico, negli anni il suono emesso è diventato anche un brand che ne caratterizza le peculiarità di funzionamento. Per questo è necessario analizzare tutte le sue caratteristiche intrinseche attraverso una indagine psicoacustica. In questo contesto, il

suono emesso da diversi prodotti industriali è stato misurato all'interno della camera anecoica del LAD. Sulla scorta dei segnali sonori misurati sono state costruite diverse tipologie di test psicoacustici e sono state condotte diverse campagne di ascolto per valutare diversi aspetti della qualità del suono ed un giudizio complessivo di piacevolezza o di fastidio, come per esempio riportato nel lavoro [2].

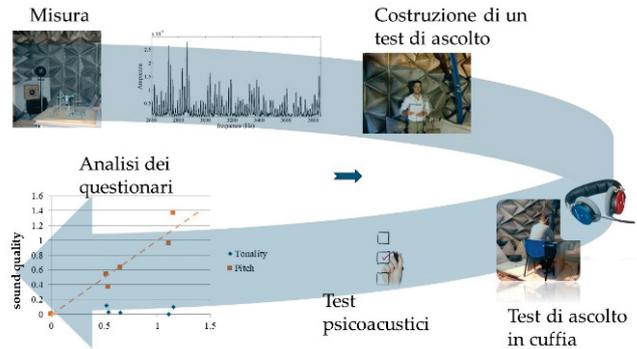


Fig. 2 – Misure di rumori di prodotti industriale, test psicoacustici e analisi dei risultati

Measurements of industrial product noise, psychoacoustic tests and analysis of results

Nella maggior parte dei test condotti è sempre emerso che la sensazione di piacevolezza o di fastidio è ben correlata con i descrittori della sound quality (vedi Fig. 2).

Analisi, modellazione e misurazione delle prestazioni acustiche di sistemi per il controllo del rumore

Il LAD fin dalla sua nascita, è sempre stato impegnato nell'analisi dei sistemi per il controllo del rumore sia da un punto di vista teorico che sperimentale. Negli ultimi anni l'attenzione del mondo scientifico è rivolta verso lo sviluppo di nuove geometrie, realizzate mediante la stampa additiva o attraverso macchine ad asportazione di materiale. A titolo di esempio in Fig. 3 è riportata la fase di progettazione mediante elaborati in ambienti MATLAB, di verifica mediante analisi numeriche agli elementi finiti e di test sperimentali di due prototipi di metamateriali realizzati per assorbire il suono in determinate bande di bassa frequenza [3].

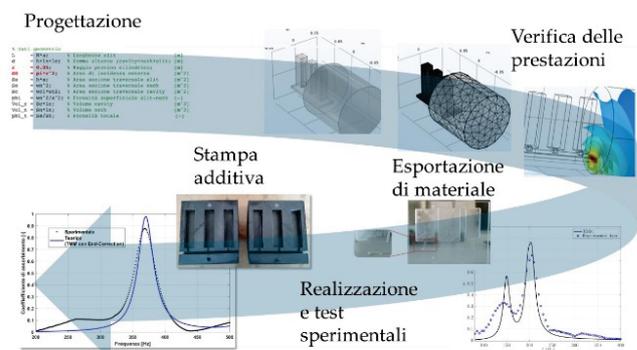


Fig. 3 – Fasi della progettazione, verifica numerica e sperimentale di un metamateriale

Design process, numerical evaluation and experimental test of a metamaterial

In altri casi sono stati realizzati sistemi fonoassorbenti per il controllo del rumore adattando la tipologia di sistema così come la scelta del materiale in funzione delle specifiche richieste. Ad esempio, mediante honeycomb e microperforati è possibile rispondere alla necessità di avere strutture leggere e compatte (Fig. 4a), nel caso in cui la prima esigenza sia la sostenibilità mediante materiali ecosostenibili come materiali realizzati in fibre di canapa (Fig. 4b) ovvero sistemi che si integrano in strutture in fibra di vetro (Fig. 4c).

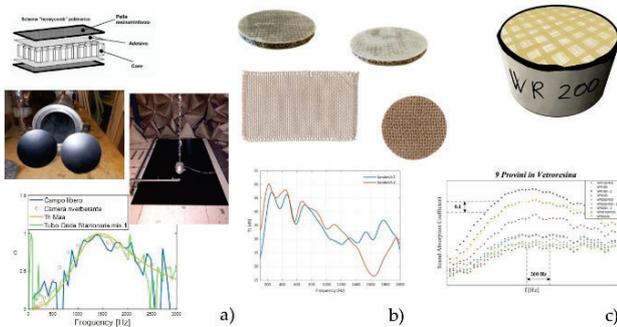


Fig. 4 – Diverse tipologie di sistemi fonoassorbenti. (a) microperforati; (b) compositi in fibre di canapa; (c) composito in fibra di vetro
Different types of sound-absorbing systems. (a) mi-croperforated panel; (b) hemp fiber composite; (c) glass fiber composite

3.3 | Analisi, modellazione di sorgente aeroacustiche

Il problema del rumore derivante da sorgenti aeroacustiche ha assunto un ruolo centrale nella fase di progettazione di diverse tipologie di impianti, tra cui i diffusori HCAV. Le attività di ricerca del LAD in collaborazione con diverse aziende del settore automotive, DENSO Thermal Systems, e industriale, ZLab, si è incentrata sulla caratterizzazione sperimentale delle diverse sorgenti acustiche derivanti da ventole di impianti di condizionamento, oltre che alla definizione di un modello predittivo basato su approcci numerici di fluidodinamica computazionale. In Fig. 5 è possibile osservare il percorso seguito nella fase di modellazione numerica e poi di caratterizzazione sperimentale di uno spettro sonoro derivante dall'interazione di corpi solidi immersi in flussi a bassi numeri di Mach.

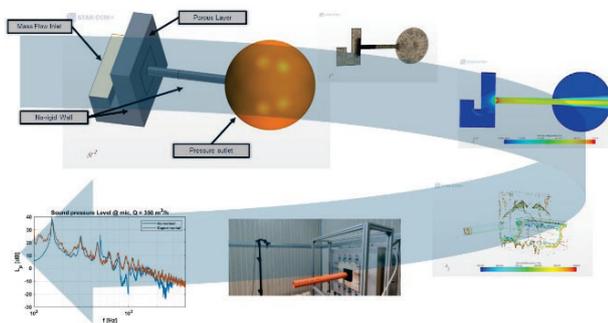


Fig. 5 – Modellazione numerica ed approccio sperimentale seguito nella caratterizzazione dello spettro sonoro dovuto all'interazione fluido-struttura
Numerical modelling and experimental approach followed in characterizing the sound spectrum due to fluid-structure interaction

3.4 | Analisi, modellazione e misurazione di dispositivi termoacustici

La recente crisi energetica connessa agli oramai noti problemi legati al global warming ha motivato l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e il recupero del calore di scarto proveniente dai cicli produttivi. In questo contesto si inseriscono i dispositivi termoacustici [4]. Senza entrare nel dettaglio della descrizione di queste macchine innovative, si vuole sottolineare il contributo di questo laboratorio nello sviluppo di materiali innovativi per la conversione della energia termica in energia acustica, noti come stack o rigeneratori, da utilizzare in sostituzione dei materiali porosi tradizionali con lo scopo di aumentarne le prestazioni. Ispirandosi a microstrutture reali quali le schiume e le fibre, sono state progettate e poi realizzate mediante stampa additiva particolari microstrutture. Ad esempio, materiali fibrosi hanno ispirato la costruzione di microstrutture reticolari inclinate (Fig. 6) [5] e le schiume parzialmente occluse da membrane (Fig. 7).

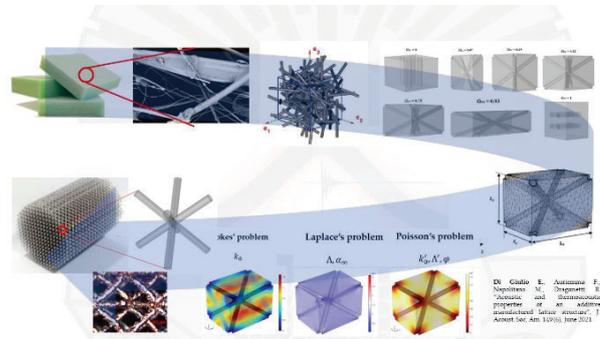


Fig. 6 – Fasi della progettazione e realizzazione di microstrutture reticolari in materiale metallico
Design process and fabrication of micro-lattice structures made of metallic material

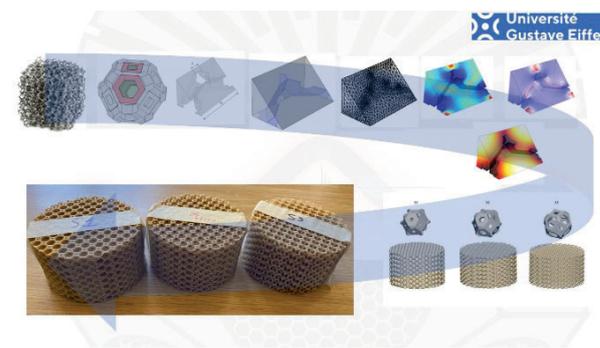


Fig. 7 – Fasi della progettazione e realizzazione di microstrutture in celle parzialmente occluse
Design process and fabrication of micro-structures in partially closed cells

4 | Principali dotazioni sperimentali

Il LAD si è dotato negli ultimi anni di diversi apparati di misura per affiancare l'attività di ricerca, prima esposta, con una intensa attività sperimentale. Di seguito verranno descritte alcune di tali apparecchiature raggruppate per tipologie comuni alle attività di ricerca.

4.1 | Qualità acustica del rumore dei prodotti industriali

I dispositivi per la caratterizzazione della potenza sonora emessa da una qualsiasi sorgente sonora si compongono di un sistema multicanale della National Instruments, numerosi microfoni prepolarizzati o da polarizzare, una sonda intensimetrica. I test di ascolto avvengono mediante le cuffie audiometriche. Inoltre, è stata brevettata una tecnologia che permette di misurare il rumore emesso da un componente industriale a fine line di produzione (EoL) in ambienti di lavoro particolarmente rumorosi. Tale apparecchiatura è stata definita LENC (Low Emission Noise Compensation, vedi Fig. 8) [6].



Fig. 8 – Apparecchiatura per il controllo del rumore EoL
EoL noise control equipment

4.2 | Misura delle prestazioni acustiche di sistemi per il controllo del rumore

Per la misura delle prestazioni acustiche dei sistemi utilizzati per il controllo del rumore, il LAD dispone di dotazioni sperimentali innovative per testare le proprietà in ipotesi di campo piano e in campo libero. Nel primo caso il LAD ha ampliato le classiche tecniche di misure mediante il tubo ad onde stazionarie che vedono l'utilizzo di due, tre e quattro microfoni [7,8], vedi Fig. 9. Infatti, senza la necessità di rimuovere il provino dal suo alloggio è possibile testare la resistività al flusso d'aria [9] e, mediante la tecnica a parametri concentrati, conoscere le proprietà viscoso e termiche a bassissime frequenze [10,11].



Fig. 9 – Tubo ad onde stazionarie adattato per la misura della resistività al flusso d'aria e le misure a bassa frequenza
Standing-wave tube adapted for airflow resistivity measurement and low-frequency measurements

Inoltre, la particolare forma del porta-provini con la chiusura dall'alto permette di inserire il provino senza deformato e assicurarne una condizione al contorno uniforme.

Per le misure in campo libero, è stata perfezionata una tecnica che permette di stimare, oltre che il coefficiente di assorbimento in campo libero, anche la pressione sonora e la velocità riflessa delle particelle per diversi angoli di incidenza [12], come riportato nella Fig. 10. Mediante questa tecnica si vuole evidenziare che è possibile anche effettuare una stima del reale angolo di riflessione del suono.

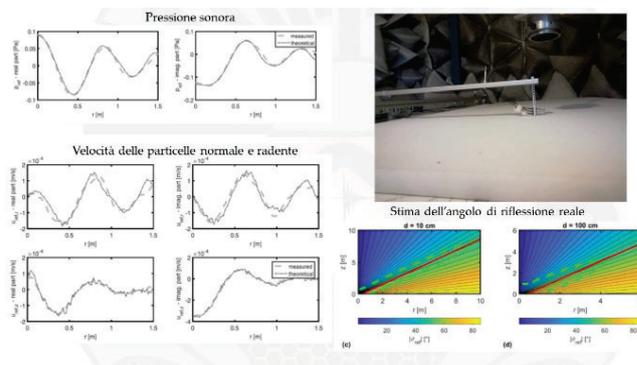


Fig. 10 – Misura automatizzata del campo di pressione e velocità sonora riflesse. Misura del reale angolo di riflessione
Automated measurement of reflected pressure and velocity fields. Measurement of the true reflection angle

Il sistema si compone di un braccio meccanizzato che può scorrere linearmente manovrato da un motore passo-passo azionato mediante un attuatore e comandato da un sistema della NI, programmato interamente presso il LAD. La misura viene effettuata mediante tre microfoni da ¼ della Grass.

4.3 | Dispositivi termoacustici

La Fig. 11 mostra una foto del primo prototipo di dispositivo termoacustico interamente realizzato dal LAD il cui obiettivo è quello di verificare sperimentalmente l'attendibilità delle funzioni termiche e viscoso [4] quando in esso vengono utilizzati, come stack, materiali porosi aventi strutture non convenzionali.

Il dispositivo presenta una parte centrale, in cui viene alloggiato il campione da testare, realizzata con un materiale isolante e alle cui estremità deve essere realizzato il gradiente termico necessario per avviare il fenomeno termoacustico. A tale scopo è stata utilizzata una fascia riscaldante dotata di un controllo sulla temperatura e un misuratore di potenza. All'estremità opposta che, invece, deve essere mantenuta a temperatura ambiente, il tubo, per l'intera sua lunghezza è avvolto da una serpentina ad acqua equipaggiata di pompa e flussimetro a ultrasuoni (25FD-XC8R3) per la misurazione della portata. Termocoppie di tipo K e termoresistenze Pt100 sono posizionate in diversi punti per controllare l'andamento della temperatura lungo il dispositivo, mentre per le misurazioni di pressione vengono utilizzati dei microfoni da 1/4".

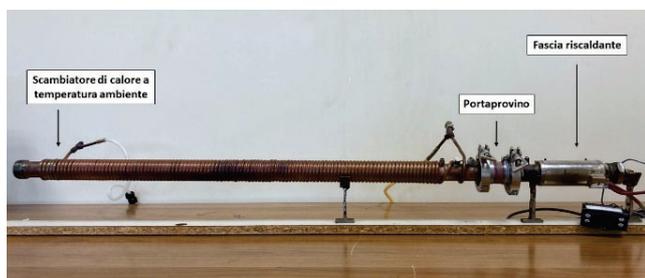


Fig. 11 – Prototipo di dispositivo termoacustico
Thermoacoustic device prototype

5 | Attività di ricerca presso aziende ed all'estero

Negli ultimi decenni il LAD ha intrapreso numerose collaborazioni con i più prestigiosi enti di ricerca all'estero come testimoniato da diversi lavori scientifici: l'Institute for Hearing Technology and Acoustics dell'RWTH di Aachen in Germania [10], il MSME – (Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Echelle) dell'Université Gustave Eiffel in Francia [11], la Tallin University of Technology in Estonia [12]. Inoltre, sono stati stretti accordi per tirocini curriculari extramoenia presso il LAUM – Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans in Francia e di collaborazione scientifica con l'Universidade Federal of Itajuba in Brasile. Negli anni sono stati svolti numerosi seminari tematici ai quali hanno preso parte le più prestigiose aziende nel settore industriale quali: DENSO Thermal System, l'ex FCA, Capgemini Engineering presso Maserati, McLaren, Ferrari, Akkodis e ZLAB.

Bibliografia

- [1] R. Dragonetti, C. Ianniello, R.A. Romano, The "Teatro di San Carlo" in Naples and its smaller clone "Teatro Verdi" in Salerno, Article in The Journal of the Acoustical Society of America (2008). <https://doi.org/10.1121/1.2932948>.
- [2] R. Dragonetti, M. Ponticorvo, P. Dolce, S. Di Filippo, F. Mercogliano, Pairwise comparison psychoacoustic test on the noise emitted by DC electrical motors, Applied Acoustics 119 (2017) 108-118. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2016.12.016>.
- [3] E. Di Giulio, M. Napolitano, R.A. Romano, A. Scofano, R. Dragonetti, INFLUENCE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ON THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF METAMATERIALS, (n.d.). <https://doi.org/10.61782/fa.2023.1004>.

- [4] R. Dragonetti, M. Napolitano, S. Di Filippo, R. Romano, Modeling energy conversion in a tortuous stack for thermoacoustic applications, Appl Therm Eng 103 (2016) 233-242. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2016.04.076>.
- [5] E. Di Giulio, F. Auriemma, M. Napolitano, R. Dragonetti, Acoustic and thermoacoustic properties of an additive manufactured lattice structure, J Acoust Soc Am 149 (2021) 3878-3888. <https://doi.org/10.1121/10.0005085>.
- [6] R. Dragonetti, A. Lepore, S. Di Filippo, F. Mercogliano, R.A. Romano, Statistical considerations on stationary-random noise propagating through a solid medium, Https://Doi.Org/10.1177/1077546316662168 24 (2016) 1505-1517. <https://doi.org/10.1177/1077546316662168>.
- [7] Y. Salissou, R. Panneton, O. Doutres, Complement to standard method for measuring normal incidence sound transmission loss with three microphones, J Acoust Soc Am 131 (2012) EL216. <https://doi.org/10.1121/1.3681016>.
- [8] B.H. Song, J.S. Bolton, A transfer-matrix approach for estimating the characteristic impedance and wave numbers of limp and rigid porous materials, J Acoust Soc Am 107 (2000) 1131. <https://doi.org/10.1121/1.428404>.
- [9] R. Dragonetti; C. Ianniello; R. A. Romano, Measurement of the resistivity of porous materials with an alternating air-flow method, J Acoust Soc Am 129 (2011) 753-764.
- [10] E. Di Giulio, M. Napolitano, A. Di Meglio, R.A. Romano, R. Dragonetti, Low frequency acoustic method to measure the complex density of porous materials, J Acoust Soc Am 152 (2022) 2220. <https://doi.org/10.1121/10.0014762>.
- [11] M. Napolitano, E. Di Giulio, F. Auriemma, R.A. Romano, R. Dragonetti, Low frequency acoustic method to measure the complex bulk modulus of porous materials, J Acoust Soc Am 151 (2022) 1545-1556. <https://doi.org/10.1121/10.0009767>.
- [12] R. Dragonetti; M. Napolitano; R.A. Romano, A study on the energy and the reflection angle of the sound reflected by a porous material, J Acoust Soc Am 145 (2019), 489-500.
- [13] E. Di Giulio, C.T. Nguyen, C. Perrot, R. Dragonetti, Wire mesh stack and regenerator model for thermoacoustic devices, Appl Therm Eng 221 (2023) 119816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119816>.
- [14] F. Auriemma, E. Di Giulio, M. Napolitano, R. Dragonetti, Porous Cores in Small Thermoacoustic Devices for Building Applications, Energies 2020, Vol. 13, Page 2941 13 (2020) 2941. <https://doi.org/10.3390/en13112941>

