

INRiM AUV Publications 2005

http://www.inrim.it/ar2005/ar/au_pub.html

INRiM AUV Publications 2006

http://www.inrim.it/ar2006/ar/au_pub.html

INRiM AUV Publications 2007

International Journals

R.M. Gavioso, G. Benedetto, P.A. Giuliano Albo, A. Merlone, A. Balsamo, G.E. D'Errico, R. Spagnolo: *Progress towards an acoustic measurement of the molar gas constant at INRiM*. International Journal of Thermophysics, Vol. 28, no. 6, pp. 1775-1788, 2007.

Progress in developing an experiment for the determination of the molar gas constant R and the Boltzmann constant k at INRiM is reported. The experiment involves simultaneous measurements of the acoustic and microwave resonance frequencies of a stainless steel spherical resonator for which its hemispheres were deliberately misaligned. For the present work, these frequencies were measured in helium near 273.16 K, in the pressure range from 100 to 800 kPa. From microwave data, the radius of the resonator was determined as a function of pressure with an estimated uncertainty of 6.0 ppm. Using acoustic data and the microwave determination of the resonator radius, the speed of sound in helium was deduced, and these values were compared with those predicted by recent accurate *ab initio* calculations. Over most of the pressure range, the present values agreed with the *ab initio* values within the uncertainty of the measurements (standard uncertainty of approximately 7.0 ppm). Many suggestions for reducing the uncertainty are provided.

A. Schiavi, A. Pavoni Belli, M. Corallo, F. Russo: *Acoustical performance characterization of resilient materials used under floating floors in dwellings*. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 93, no. 3, pp. 477-485, 2007.

J. W. Schmidt, R. Gavioso, E.F. May, M.R. Moldover: *Polarizability of helium and gas metrology*. Physical Review Letters, Vol. 98, art. 254504, 2007.

Using a quasispherical, microwave cavity resonator, we measured the refractive index of helium to deduce its molar polarizability A_ϵ in the limit of zero density. We obtained $(A_{\epsilon,\text{meas}} - A_{\epsilon,\text{theory}}) / A_{\epsilon,\text{meas}} = (-1.8 \pm 9.1) \times 10^{-6}$, where the standard uncertainty (9.1 ppm) is a factor of 3.3 smaller than that of the best previous measurement. If the theoretical value of A_ϵ is accepted, these data determine a value for the Boltzmann constant that is only 1.8 ± 9.1 ppm larger than the accepted value. Our techniques will enable a helium-based pressure standard and measurements of thermodynamic temperatures.

Knud Rasmussen, Claudio Guglielmono, "Final report on the key comparison EUROMET.AUV.A-K3", Metrologia 44, Tech. Suppl. ,09004

The need for a comparison of laboratory standard microphones type LS2aP was agreed during the EUROMET TC AUV 'Sound in air' SC and contact persons meeting in Warsaw, held in May 2002. The goal of the comparison is to complement on a regional scale the CCAUV.A-K3 comparison, in order to be able to demonstrate the equivalence of acoustical pressure standards of European NMIs. The EUROMET TC AUV presented a project No 674 for the comparison and it was agreed that IEN would be the pilot laboratory with technical assistance given by DPLA. A Technical Protocol was distributed in September 2003 and

measurements started in November 2003. Draft A was prepared in January 2005 and finally approved in May 2005 at the TC AUV EUROMET meeting in Torino. The CCAUV approved this final report and the degrees of equivalence in September 2006.

National Journals

R. Gavioso, G. Benedetto, P. A. Giuliano Albo: *Velocità del suono nei gas e metrologia dei fluidi*. Rivista Italiana di Acustica, Vol. 31, n. 3-4, pp. 7-16, 2007.

La velocità del suono in un fluido è una grandezza fisica determinata a livello macroscopico dal valore delle variabili termodinamiche, temperatura e densità, che definiscono lo stato del sistema, a livello microscopico da alcune proprietà fisiche caratteristiche della particolare sostanza in esame, quali il potenziale di interazione intermolecolare e la configurazione dei livelli energetici. In questo articolo vengono descritte le relazioni che legano la velocità del suono u alle proprietà di un gas, considerando diversi livelli di complessità. Per ognuno di questi livelli sono descritti i fenomeni fisici che intervengono nella propagazione di un'onda acustica e sono illustrate le principali applicazioni di interesse scientifico e tecnologico che sono realizzabili attraverso una misura accurata della velocità del suono. Infine, vengono descritti i principi teorici e i metodi sperimentali utilizzati per una misura accurata di velocità del suono con risonatori sferici.

Interantional Conference Proceedings

R.M. Gavioso: *Metrological applications of acoustic and microwave resonators*. Proceedings of the Int. School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI "Metrology and Fundamental Constants", edited by T. Hänsch, S. Leschiutta, A.J. Wallard and M.L. Rastello, pp. 455-471, IOS Press 2007.

R. M. Gavioso, G. Benedetto, P. A. Giuliano Albo, A. Merlone, A. Balsamo, R. Spagnolo: *Pro-Pro: progress and problems of the experiment for the acoustic determination of the Boltzmann constant at INRIM*. Workshop on the acoustic determination of the Boltzmann constant and acoustic gas thermometry, Torino, September 2007; pubblicato on line su <http://forum.bipm.org>.

A major development of the theory and practice of acoustic and microwave resonators has been achieved in recent years. These scientific instruments may now be used to provide an extremely accurate estimate of the thermodynamic and electrical properties of dilute gases. When combined in a single experiment, the features of a microwave and acoustic resonator prove capable to challenge, in terms of achievable accuracy, the currently adopted primary standards for the physical quantities temperature and pressure. Within this present frame, a measurement of speed of sound in helium or argon effected at the temperature of the triple point of water candidates as the most promising method for a new determination of the molar gas constant R and the Boltzmann constant k at a 1 ppm level. If this is achieved in a near future, it will support the adoption of a new definition of the unit of temperature, the kelvin, based on an exactly defined value of these constants. Recently, a significant effort has also been pursued in improving the theoretical calculation of some physical properties of monoatomic gases *ab-initio*, with particular attention to helium. As a result of this improvement, the calculated helium properties may now serve as a reference for the purpose of calibrating many different instruments, from primary thermometers to viscometers.

P. A. Giuliano Albo, R. M. Gavioso, G. Benedetto: *Eigenvalues and eigenfunctions determination of a steady state acoustic field bounded in a quasi-spherical cavity*. Workshop on the acoustic determination of the Boltzmann constant and acoustic gas thermometry, Torino, September 2007, pubblicato on line su <http://forum.bipm.org>.NON

S. Lago, A. Giuliano Albo, D. Madonna Ripa: *New method for the calculation of the thermodynamical properties of fluids starting from accurate speed of sound measurements*. Proceedings of 19th International Congress on Acoustics, Madrid (Spain), September 2007 (cd rom).

In this work, it is described a new method for the determination of the thermodynamical properties of fluids starting from the experimental speed of sound measurements, based on the resolution of recursive equations (REM, Recursive Equations Method) for the calculation of the density $\rho(p,T)$ and specific heat capacity at constant pressure $c_p(p,T)$, using the same quantities, $\rho(p_0,T)$ and $c_p(p_0,T)$, at reference pressure

p_0 , as a function of the temperature.

As example of the good performances in this analysis method, we reported the density and specific heat capacity data, obtained by the experimental speed of sound values in pure acetone. These results have been compared with those calculated by the most advanced numerical integration methods and with the prevision of the dedicated equation of state by Lemmon and Span.

A. Schiavi, A. Pavoni Belli, M. Corallo, F. Russo: *Evaluation of compressibility and compressive behaviour of resilient materials used in floating floors according to standard EN 12431*. Proceedings of 19th International Congress on Acoustics, Madrid (Spain), September 2007 (cd rom).

International Congress on Acoustics, Madrid (Spain), September 2007 (cd rom).

Resilient materials used as underlayers in floating floors suffer a compression with time due to the static load of the floating mass. The static load in time could lead to a thickness decreasing in resilient underlayers and as a consequence a relative dynamic stiffness increasing. Dynamic stiffness is a very important quantity in an acoustical properties evaluation. Standard EN 12431 states a procedure to determine thickness under different static loads for floating floor insulating products. The procedure evaluates the mechanical properties of thermal insulation products for building application, and anyway thickness decreasing of insulation underlayers is a fundamental variable in the acoustical field.

In cooperation with the "Masses and Volumes" Department of INRIM (ex IMGC-CNR "Gustavo Colonnetti") of Turin a new standard equipment for compressibility measurement according to Standard EN 12431 has been designed and realized. The static loads are applied in sequence by gravity without friction. Thickness variation, in function of time and load, of the resilient underlayer is measured by means of a digital comparator connected with a PC: data of thickness variation under load are registered 2 times per second.

A. Schiavi, A. Pavoni Belli, F. Russo, M. Corallo: *Acoustical and mechanical characterization of an innovative expanded sintered elasticized polystyrene used as underlayer in floating floors*. Proceedings of 19th International Congress on Acoustics, Madrid (Spain), September 2007 (cd rom).

In recent years, floating floor technology has been more and more widespread in the Italian building context, in compliance with a recent legislative decree (D.P.C.M. 5-12-97). Floating floor is one of the most effective building technologies to protect against impact sound and vibration propagation in structures, such as footfall noise and any other structural transmissions. In this paper the acoustical performance and the mechanical properties of an innovative expanded sintered elasticized polystyrene (in this paper called EPS-E), used as underlayer in floating floors, are investigated on the basis of apparent dynamic stiffness measurement (according to UNI EN 29052-1) and compressibility (according to UNI EN 12431).

It needs emphasizing that the main innovation in Italy is realized by companies that produce systems of working of the EPS-E, therefore in particular linked to the production processes: e.g. stamping in one only phase of EPS-E with different density and characteristics of dynamic stiffness. For example this process is applied when realizing heating panels in floors with greater density where the water pipes are lodged and with smaller density, but elasticized, for the lower layers.

A. Troia, D. Madonna Ripa, R. Spagnolo: *Sonoluminescence in hetero organic volatile solvents at room temperature*. Proceedings of 19th International Congress on Acoustics, Madrid (Spain), September 2007 (cd rom).

The phenomenon of sonoluminescence (SL) still presents some unexplored aspects. Recently, an experiment by Suslick and co-workers has demonstrated the presence of plasma inside a collapsing bubble in sulphuric acid, with temperatures greater than 10000 K [1], but the unusual chemical and physical conditions in which SL can occur, point out the weakness of the theory explaining this phenomenon. For example, it is generally accepted that for a cavitating liquid to present strong SL emissions, its vapour pressure has to be low. This property has been observed both in multi-bubble and in single-bubble sonoluminescence. If the temperature of the liquid (and hence its vapour pressure) is lowered enough, single- and multi-bubble sonoluminescence was observed also in volatile organic solvents. The interest of the scientific community for high energy cavitation events in organic solvents increased after the recent claims about neutrons emission from deuterated acetone and many scientific groups have tried to repeat that experiment with alternate success and failure.

The present work is devoted to multibubble sonoluminescence (MBSL) experiments in various hetero-organic volatile liquids (C_2Cl_4 , C_2HCl_3 , CH_2Cl_2 and CS_2), at room temperature. These solvents present a high vapour pressure (in certain cases, similar to the value of acetone). UVVis spectra of the various emitting liquids were acquired both at ambient and at low temperature. For comparison, experiments were conducted on acetone but no emissions were detected.

National Conference Proceedings

A. Astolfi, A. Schiavi, S. Geroso, M. Corallo: *L'influenza della trasmissione laterale (indiretta) nella determinazione del livello di rumore di calpestio*. Atti del Seminario "Il controllo del rumore di calpestio: progettazione e verifica ai sensi del D.P.C.M. 5-12-97", pp. 31-46, 2007.

La valutazione delle prestazioni acustiche di elementi di edificio, in particolare del potere fonoisolante e del livello di rumore di calpestio, può essere effettuata mediante l'utilizzo di alcuni modelli di calcolo proposti nella serie di Norme UNI EN 12354 a partire dalle prestazioni dei prodotti e dei componenti. Per l'implementazione di tali modelli è tuttavia necessario disporre di dati di ingresso particolarmente accurati e, purtroppo, non sempre facilmente reperibili.

Un dato particolarmente interessante, e ancora poco utilizzato, è l'indice di riduzione delle vibrazioni. Questa grandezza permette di determinare il contributo di rumore dovuto alle trasmissioni laterali nella trasmissione sonora globale tra due ambienti, dunque risulta essenziale come fattore di correzione, in funzione delle caratteristiche strutturali peculiari degli elementi in esame, nei modelli di calcolo proposti.

Il fenomeno della trasmissione di vibrazioni attraverso le strutture richiede una trattazione matematica piuttosto complessa sulla quale, in questo contesto, non ci si sofferma; qualitativamente si può riassumere che nei solidi di dimensioni finite si possono propagare diverse tipologie di onde elastiche: onde estensionali, onde torsionali, onde superficiali e onde flessionali. La propagazione combinata di queste onde nei solidi si manifesta, alla comune percezione, come vibrazione e, come tale, innesca un processo di radiazione acustica, cioè un'emissione di energia sonora da parte della struttura stessa nell'ambiente. Le modalità di propagazione della vibrazione nei solidi dipendono dalle caratteristiche intrinseche degli elementi attraverso cui si propagano come la densità, il modulo di Young, il rapporto di Poisson, la rigidità longitudinale e l'elasticità tangenziale.

La misurazione del livello di velocità delle vibrazioni degli elementi strutturali permette pertanto di caratterizzare il fenomeno della trasmissione sonora tra ambienti nella sua completezza.

In questo lavoro sono riportati i primi risultati sperimentali sulla determinazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni e sul relativo utilizzo per la valutazione delle prestazioni acustiche del livello di rumore di calpestio di un pavimento galleggiante posato in opera. I dati di livello di pressione sonora di calpestio stimati attraverso il modello di calcolo dettagliato proposto nella Norma UNI EN 12354-2, sono stati confrontati con i dati di livello di rumore di calpestio misurati classicamente a Norma UNI EN ISO 140-7.

A. Bernardi, G. Durando, C. Musacchio: *Apparati e metodi di misura dei parametri caratteristici del campo ultrasonoro*. Atti del V Congresso Metrologia & Qualità, Torino, marzo 2007 (cd rom).

Negli ultimi decenni l'uso degli ultrasuoni in campo medico ha conosciuto una larghissima diffusione, sia nel campo della diagnostica che in quello della terapia. Nell'ottica della verifica del corretto funzionamento dei dispositivi ultrasonori e della tutela dei pazienti sottoposti a trattamenti con ultrasuoni è necessario definire opportuni parametri e metodi di misura per la caratterizzazione dei campi ultracustici. Di particolare interesse risultano essere i processi di misura volti a determinare la potenza ultrasonora emessa dalle sorgenti e la ricostruzione spaziale del campo generato. La misura della potenza viene eseguita, presso il laboratorio ultrasuoni dell'INRIM, utilizzando il principio della bilancia a forza di radiazione, mentre la ricostruzione delle caratteristiche del fascio e la valutazione dei principali indici è ottenuta mediante scansione spaziale con idrofoni.

A. Bernardi, A. Troia: *Determinazione delle proprietà dei mezzi di accoppiamento utilizzati nel campo biomedicale*. Atti del 34° Conv. Ass. Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Le applicazioni biomediche degli ultrasuoni hanno avuto una crescita enorme negli ultimi 50anni. Alla diagnostica per immagini e al Doppler sono seguite tecniche per la terapia e la chirurgia. Nell'ottica dell'ottimizzazione dei sistemi esistenti e della tutela della salute del paziente, risulta di grande interesse lo studio di materiali in grado di simulare le proprietà acustiche dei tessuti. L'impiego di tali materiali, in genere gel, è duplice: da un lato essi possono essere usati come mezzo di trasmissione per l'accoppiamento di impedenza, dall'altro possono fungere da fantocci per la misura in vitro degli effetti indotti sui tessuti dalla radiazione ultrasonora. Presso i laboratori dell'INRIM è attualmente in fase di realizzazione un sistema per la misura dei parametri acustici di gel che, basandosi sul metodo della sostituzione, consente la misura di grandezze caratteristiche quali velocità di propagazione del suono, impedenza acustica e coefficiente di assorbimento. La finalità del sistema di misura è lo studio e il confronto di gel attualmente in commercio e di nuovi materiali prodotti in laboratorio.

E. Brosio, A. Schiavi, S. Geroso: *Comportamento acustico di solai in latero-cemento: considerazioni preliminari su alcuni dati sperimentali*. Atti del Seminario "Il controllo del rumore di calpestio: progettazione e verifica ai sensi del D.P.C.M. 5-12-97", pp. 47-58, 2007.

In un recente lavoro è stata evidenziata l'esigenza di conoscere in modo più approfondito il comportamento acustico di strutture edili in laterizio che, come è già stato accennato in più occasioni, rappresentano il materiale di uso più diffuso in campo nazionale.

L'esigenza nasce dalla necessità di disporre, in sede di progetto, di strumenti idonei per una previsione sufficientemente attendibile delle prestazioni acustiche di un edificio, in relazione ai requisiti imposti dal noto DPCM 05/12/97.

Per quanto riguarda in particolare il requisito del rumore di calpestio, occorre osservare che questa prestazione riguarda eminentemente gli edifici a destinazione residenziale, alberghiera e ospedaliera; in misura minore scuole e uffici; hanno importanza trascurabile le altre destinazioni previste dalla legge (ricreativa, commerciale, culto).

Proprio negli edifici più sensibili al disturbo da calpestio sono di maggior diffusione i solai leggeri a blocchi forati in laterizio che, indipendentemente dalla prestazione acustica, offrono indubbi vantaggi per quanto riguarda la praticità e l'economia di costruzione.

Le possibilità di previsione del comportamento acustico di solai che sono offerte attualmente dalla letteratura (norme, codici di pratica) sono alquanto precarie: Come è già stato osservato, il criterio ISO (ripreso tal quale dall'UNI) dovrebbe riguardare una tipologia di solai molto vasta: dalle piastre piene ai blocchi, pieni e forati, di varia natura e densità. In realtà l'espressione fornita per il calcolo dell'indice globale di valutazione L_{nw} è applicabile, con le dovute riserve, solo alle solette monolitiche in cemento armato.

Per i solai in cemento, comunque, risulta più attendibile l'espressione derivata dalla teoria di Cremer, sulla base di conferme sperimentali, già illustrate in altre occasioni.

In ogni caso, le espressioni attualmente disponibili non sono affatto applicabili ai solai in latero-cemento, per i quali il problema è tuttora aperto.

Avendo avuto ultimamente a disposizione una certa quantità di materiale sperimentale relativo ai solai di questo tipo, è stata possibile una elaborazione che consente di fornire alcune indicazioni di carattere generale.

Con la riserva che si tratta di osservazioni preliminari, aventi lo scopo di presentare un problema la cui soluzione richiede di poter disporre di ulteriori e cospicui dati sperimentali, questa relazione presenta i risultati finora ottenuti.

G. Durando, C. Musacchio, A. Bernardi: *Valutazione dell'incertezza associata a misure di potenza ultrasonora*. Atti del V Congresso Metrologia & Qualità, Torino, marzo 2007 (cd rom).

La realizzazione di qualsiasi dispositivo di misura comprende la valutazione l'incertezza con la quale si riesce a valutare il misurando. In generale sono possibili due soluzioni; la prima, è assumere come incertezza la ripetibilità della misura, ovvero, lo scarto tipo di n misurazioni ripetute nel tempo. Anche se il sistema di misura è sufficientemente stabile e le misurazioni sono state condotte in un arco di tempo breve, una soluzione di questo tipo porta, in generale, ad una sottostima sostanziale dell'incertezza di misura.

La seconda soluzione si basa sul modello matematico della misurazione. La difficoltà, in questo caso, risiede nella definizione rigorosa ed esaustiva del modello matematico della misura, che deve tenere conto di tutti i contributi che influenzano la determinazione del misurando. L'analisi avviene secondo le indicazioni della "Guida alla espressione delle incertezze di misura" UNI CEI 13005.

In questo lavoro vengono descritte le tecniche utilizzate per la valutazione dei tre apporti principali che danno luogo all'incertezza di misura della potenza ultrasonora: la componente di incertezza relativa alla misura della tensione efficace ai capi del trasduttore ultrasonoro, la componente associata alla lettura della forza in presenza ed in assenza di fascio ultrasonoro e, infine, quella dovuta alla determinazione del differenziale di massa durante causato dalla transizione ON ad OFF del fascio ultrasonoro.

G. Durando, C. Guglielmo: *Misura della potenza ultrasonora a bassi livelli mediante tecniche di elaborazione delle serie temporali*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Il metodo più usato per la misura della potenza ultrasonora si basa sulla misura della forza che il fascio ultrasonoro esercita su di un bersaglio collegato, mediante un apposito meccanismo, al piatto della bilancia. Tra le componenti di incertezza, ai bassi livelli di potenza, tipicamente sotto 10 mW, risulta predominante il rumore, di varia origine, che perturba la lettura della forza. Nella taratura di trasduttori campione, utilizzati per il trasferimento della grandezza pressione ultrasonora, è disponibile anche il segnale elettrico che alimenta il trasduttore, costituito da treni d'onda della durata di qualche secondo. Correlando l'involuppo del segnale di

pilotaggio con la lettura della bilancia, mediante tecniche di elaborazione delle serie temporali, è possibile ridurre l'influenza delle perturbazioni sul segnale relativo alla forza e migliorare l'incertezza della misurazione. Vengono presentati gli algoritmi utilizzati e una valutazione del miglioramento dell'incertezza a diversi livelli di potenza.

R. M. Gavioso: *Velocità del suono nei gas. teoria e applicazioni*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Significativi sviluppi di interesse per l'acustica fisica hanno avuto luogo negli ultimi decenni, migliorando le capacità di misura e di calcolo della velocità del suono nei gas. Il primo riguarda la pubblicazione di tabulazioni eccellenti delle proprietà termodinamiche dei gas, sottoforma di equazioni di stato dedicate, corredate da un'attenta valutazione dell'incertezza. Il secondo è il considerevole lavoro teorico e sperimentale che ha portato ad una migliore comprensione dei fenomeni molecolari di rilassamento e dispersione associati alla propagazione delle onde acustiche nei gas. Infine, lo sviluppo della pratica e l'utilizzo di strumenti straordinariamente accurati, quali i risonatori sferici o quasi-sferici, hanno permesso di realizzare numerose applicazioni di rilievo, dalla determinazione del valore della costante di Boltzmann, che è alla base della futura proposta nuova definizione dell'unità di misura della temperatura, alla dimostrazione della possibilità di utilizzare i dati acustici per la determinazione delle proprietà termodinamiche dei gas con accuratezza competitiva rispetto ai metodi tradizionali.

S. Geroso, A. Schiavi, M. Corallo, G. Piccablotto: *Misure di potere fonoisolante apparente mediante la risposta all'impulso*. Atti del V Congresso Metrologia & Qualità, Torino, marzo 2007 (cd rom).

Nella Norma UNI EN ISO 140-4/2000 viene illustrata la strumentazione e la procedura completa per le misurazioni del potere fonoisolante apparente tra ambienti chiusi: posizionamento della sorgente, dei microfoni, misurazione del contributo del tempo di riverberazione della camera ricevente, per cui si fa riferimento alla Norma ISO 354/2003, e la procedura di correzione del rumore di fondo.

Nel caso della misura del potere fonoisolante apparente in opera il rumore di fondo può essere molto elevato poiché, nel caso dell'edificio in costruzione, possono esserci lavori in contemporanea o in altri casi ci possono essere condizioni ambientali di rumore elevato: strada con transito veicolare, rumori indotti da attività lavorative ecc.

Il metodo della risposta all'impulso, pur se non previsto dalla norma citata, permette di effettuare misure di potere fonoisolante apparente anche in presenza di elevato rumore di fondo. Con tale metodo si considera il sistema microfoni-sorgente all'interno della coppia di camere separate dall'elemento in esame, come sistema lineare e tempo-invariante.

In questa articolo è stata verificata la validità della misura mediante la risposta all'impulso confrontandola con il metodo tradizionale di misura del livello di pressione sonora, stabilito nella Norma, anche in caso di rumore di fondo molto elevato.

S. Geroso, D. Squarciapino, A. Pavoni Belli, M. Corallo: *Verifica sperimentale della misura e della rilevanza del parametro G (Sound Strength)*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Il parametro G (Sound Strength), definito nella Norma ISO 3382/97, può essere misurato utilizzando una sorgente sonora omnidirezionale calibrata ed è definito come il rapporto logaritmico del contenuto energetico della risposta all'impulso misurata nell'ambiente sotto test, rispetto al contenuto energetico della risposta all'impulso misurata alla distanza di 10 m dalla stessa sorgente sonora in campo libero. Nella medesima Norma sono riportate altre procedure di misura dello stesso parametro così come in altri riferimenti bibliografici. In questo lavoro si presentano le procedure utilizzate per calcolare la risposta all'impulso di riferimento, ovvero la risposta all'impulso da porre a confronto con quelle ottenute in ambienti chiusi dediti all'ascolto della parola e/o della musica. A seguito di misurazioni in ambienti chiusi reali, sono posti a confronto i risultati ottenuti dalle varie procedure di calcolo di questo parametro e con diverse catene di misura, con l'intento, inoltre, di definire una correlazione con altri indicatori di qualità allo scopo di realizzare un progetto acustico per un ascolto ottimale.

S. Geroso, A. Schiavi, A. Pavoni Belli: *Livelli di rumore da calpestio: verifica mediante la tecnica della risposta all'impulso*. Atti del 34° Convegno Assoc. Ital. di Acustica (AIA), Firenze (IT), giu 07 (cd-rom).

In questo lavoro si presentano dei risultati sperimentali dei livelli di rumore da calpestio valutati mediante la risposta all'impulso del sistema solaio-materiale resiliente-massetto galleggiante. Le prove si sono svolte principalmente in laboratorio e in misura inferiore in opera presso cantieri edili; le misure sono state

convalidate tramite un confronto diretto tra i risultati ottenuti con questa metodologia innovativa e quelli ottenuti con la misura tradizionale secondo la normativa vigente (ISO 140-8 per le misure in laboratorio, ISO 140-7 per quelle in opera).

Per tale confronto, inoltre, si è posta attenzione alle caratteristiche acustiche del solaio che, nei due ambiti considerati, sono differenti.

Il confronto ha dato un risultato positivo, sia in opera che in laboratorio, con un'incertezza di misura del tutto ammissibile; pertanto il metodo esaminato può essere considerato valido per una valutazione di prima approssimazione del rumore da calpestio nonché di una posa effettuata a regola d'arte rilevando, in caso contrario, ponti acustici indesiderati.

P.A. Giuliano Albo, R. M. Gavioso, G. Benedetto: *Calcolo degli autovalori e delle autofunzioni di un campo acustico stazionario confinato in una cavità quasi-sferica*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

I risonatori acustici hanno recentemente dimostrato di poter essere impiegati con successo per la determinazione delle proprietà termodinamiche di fluidi gassosi e in applicazioni di termometria primaria. Proprio a causa della loro elevatissima sensibilità, l'accuratezza finale della misura di velocità del suono può essere ulteriormente migliorata disponendo di un metodo per calcolare gli effetti perturbativi del campo acustico indotti dai più comuni difetti di forma dovuti ai limiti pratici della realizzazione meccanica dei risonatori. In forma concisa, e senza procedere per dettagliate dimostrazioni dei teoremi coinvolti, in questo lavoro viene descritto un metodo matematico, basato sulla teoria dei campi classica, adatto alla soluzione di questo tipo di problemi. Il metodo è stato utilizzato per il calcolo degli autovalori di campi acustici stazionari confinati all'interno di cavità non perfettamente sferiche. I risultati ottenuti sono in accordo con quelli calcolati utilizzando la teoria delle perturbazioni classica. Viene inoltre brevemente discussa la possibilità di applicare questo metodo di calcolo ai campi elettromagnetici.

C. Guglielmono, G. Durando, C. Musacchio: *Metrologia e riferibilità in acustica e ultrasuoni: situazione attuale e futuri sviluppi*. Atti del 34° Conv. Assoc. Ital. di Acustica (AIA), Firenze (IT), giu 07 (cd-rom).

La misura della pressione sonora in aria nel campo delle frequenze udibili e quella degli ultrasuoni nei liquidi non raggiungono incertezze spinte come in altri campi, non sono per ora collegate a costanti fondamentali, ma hanno una notevole rilevanza per gli utenti finali, hanno cioè forti "triggers" nella società. Il riconoscimento di questa rilevanza è stata la creazione nel 1998 un Comitato Consultivo per l'Acustica gli Ultrasuoni e le Vibrazioni (CCAUV) nell'ambito del CIPM, il Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure, massimo livello degli organismi metrologici. Ma la metrologia nel campo degli ultrasuoni e del suono in aria si basa soprattutto sulla cooperazione tra gli Istituti metrologici, che costituiscono organizzazioni a livello europeo e di altre regioni del mondo, e gli organismi di normativa volontaria, soprattutto IEC. Vengono illustrati lo stato attuale e i lavori in corso nell'ambito della normativa e della riferibilità internazionale delle tarature, e le problematiche aperte, riassunte nelle roadmaps preparatorie per il prossimo programma di ricerca europeo.

S. Lago, A. Giuliano Albo, D. Madonna Ripa: *Nuovo metodo per il calcolo delle proprietà termodinamiche dei fluidi a partire da misure di velocità del suono*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Viene descritto un metodo innovativo per la determinazione di proprietà termodinamiche dei liquidi basato sulla combinazione fra misure acustiche sperimentali e tecniche di integrazione per serie. Infatti, mentre a pressione atmosferica la misura diretta di grandezze quali la densità o il calore specifico è relativamente semplice, risulta estremamente complessa in stati termodinamici ad elevata pressione, quindi si rende necessario sviluppare un metodo che permetta la determinazione a livello metrologico, delle grandezze termodinamiche di interesse valido per ampi intervalli in temperatura e pressione. Tale metodo si basa sulla risoluzione di equazioni ricorsive (REM, Recursive Equations Method), per la costruzione delle funzioni densità $\rho(p, T)$ e calore specifico a pressione costante $c_p(p, T)$, utilizzando i valori iniziali di densità $\rho(p_0, T)$ e calore specifico $c_p(p_0, T)$ alla pressione di riferimento p_0 , in funzione della temperatura.

Come esempio delle ottime performance nel metodo di analisi implementato, vengono riportati i valori di densità e calore specifico calcolati utilizzando i risultati di velocità del suono ottenuti sperimentalmente in acetone puro. Tali risultati sono anche stati confrontati con i metodi di integrazione numerica più avanzati e con la previsione dell'equazione di stato dedicata di Lemmon e Span, J. Chem. Eng. Data 51:785 (2006).

D. Madonna Ripa, A. Troia, R. Spagnolo: *Sonoluminescenza multibubble in solventi organici alogenati*. Atti del 34° Conv. Ass. Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Ultrasuoni ad alta potenza possono produrre cavitazione e luminescenza nei liquidi in cui si propagano. Viene presentato uno studio comparativo preliminare su dati spettroscopici relativi all'emissione luminosa di una serie di solventi organici alogenati con comportamento anomalo: nonostante infatti presentino (a temperatura ambiente) una notevole volatilità, l'intensità della luminescenza osservata è paragonabile a quella prodotta, per esempio, da olii siliconici più viscosi e meno volatili.

A. Pavoni Belli: *Ripetibilità e riproducibilità delle misure in acustica edilizia*. Atti del seminario: "La progettazione edilizia e la tutela dall'inquinamento acustico", Politecnico di Torino, novembre 2007.

Le misure di acustica edilizia, e particolarmente quelle di potere fonoisolante e di isolamento dal rumore da calpestio, che costituiscono un ambito di notevole interesse con l'introduzione del D.P.C.M. relativo ai requisiti acustici passivi degli edifici, sono affette da una notevole serie di problematiche, relative sia alla metodologia di esecuzione che alla definizione dell'incertezza di misura dei risultati ottenuti.

Le incertezze di misura nel campo dei rilievi di acustica edilizia e dei materiali vengono descritte nella norma EN-UNI 140/2-1994 (peraltro non aggiornata alle ultime versioni dell'intera serie 140), con particolare riguardo alle misure di laboratorio di isolamento aereo e calpestio, come dati di ripetibilità e riproducibilità; vengono anche forniti parametri di accettabilità per le misure in opera, essenzialmente in merito al potere fonoisolante. Nel caso della misura di potere fonoisolante, la questione più importante è, allo stato attuale, quella della riproducibilità, ossia la confrontabilità, con relativa incertezza, dei risultati di misure effettuate, secondo la procedura indicata dalla norma UNI EN ISO 140-3, su uno stesso campione in laboratori diversi. Anche nella misura dell'isolamento dal rumore di calpestio i problemi non mancano. Nel caso, ad esempio, di sottofondi per pavimenti la norma ISO prescrive l'installazione del campione di almeno 10 m² sulla soletta della camera di prova e la successiva ricopertura mediante un massetto di calcestruzzo di 5 cm di spessore, che deve rispettare regole non ben definite. Nel caso delle misure in opera, a tutti i fattori già elencati per le misure di laboratorio, si aggiunge che le condizioni acustiche non sono sotto il controllo dell'operatore e nella maggior parte dei casi devono essere accettate così come sono. Nel presente lavoro verranno descritte le cause di incertezza più correnti, sia per le prove di laboratorio, sia per le misure in opera.

A. Schiavi, F. Alasia, A. Pavoni Belli, V. Fornero, M. Bertinetti: *Realizzazione di due apparati di misura per la determinazione della comprimibilità e dello scorrimento viscoso a compressione di materiali isolanti utilizzati nei pavimenti galleggianti*. Atti del V Congr. Metrol. & Qualità, Torino, mar07 (cd rom).

Il pavimento galleggiante si può considerare una delle principali tecnologie per la difesa da rumori e vibrazioni che si propagano per via strutturale. Tuttavia alla luce di numerose prove sperimentali, è stato osservato che l'attitudine ad isolare la trasmissione di energia sonora per via solida può subire notevoli variazioni nel tempo dovute all'influenza del carico statico sul materiale resiliente. Per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche del materiale resiliente e della relativa capacità di mantenere inalterato nel tempo le proprietà isolanti, è stato realizzato un apparato di misura primario per la determinazione della variazione dello spessore sotto carico, a norma UNI EN 12431 e un apparato di misura per la determinazione dello scorrimento viscoso a compressione a norma UNI EN 1606. Le normative citate si riferiscono a prove da effettuarsi su isolanti termici utilizzati in edilizia. Per quanto non espressamente relative all'ambito acustico, si è ritenuto valido utilizzare i test indicati in questi documenti normativi in quanto permettono di stabilire il comportamento meccanico a lungo termine dei materiali utilizzati comunque in pavimentazioni galleggianti.

A. Schiavi, F. Russo, A. Pavoni Belli, M. Corallo: *La misura in laboratorio della riduzione di rumore di calpestio e cenni sulle metodologie di misura delle proprietà meccaniche dei materiali resilienti*. Atti del seminario "Il controllo del rumore di calpestio: progettazione e verifica ai sensi del D.P.C.M. 5-12-97", INRIM, 27 marzo 2007, pp. 3-30, 133 pp., 2007.

La valutazione delle prestazioni acustiche di pavimenti galleggianti o pavimenti resilienti in laboratorio permette di stabilire, secondo criteri normalizzati, l'efficienza di isolamento effettiva del sistema analizzato indipendentemente dalle situazioni al contorno, come la tipologia dei giunti, i vincoli alle pareti laterali o le trasmissioni laterali (flanking transmissions). Questa valutazione risulta di particolare importanza in quanto fornisce il dato di attenuazione al rumore di calpestio DL_w del singolo sistema (pavimento-solaio) analizzato, una sorta di "valore assoluto" dell'attenuazione. Il dato di attenuazione di calpestio, determinato a Norma UNI EN ISO 140-8 [1] in un laboratorio normalizzato, è a sua volta utilizzabile per la valutazione delle prestazioni in opera: in letteratura e, in particolare nella Norma UNI EN 12354-2 [2], sono indicati alcuni modelli di calcolo che permettono di stabilire l'attenuazione da rumore di calpestio in opera, a partire da accurati dati di laboratorio, in funzione delle varie tipologie strutturali al contorno. Le correzioni dipendono essenzialmente dal livello di velocità di vibrazioni delle partizioni verticali e coinvolge le trasmissioni laterali e

le proprietà di isolamento medio delle vibrazioni dei giunti.

I requisiti di un laboratorio normalizzato per la misura di attenuazione da rumore di calpestio sono pertanto particolarmente severi sia per ciò che concerne le dimensioni, sia per ciò che concerne la stessa struttura.

Oltre alle metodologie classiche di laboratorio per la determinazione dell'isolamento acustico da rumori di calpestio esistono altre tecniche di misura che permettono la previsione delle prestazioni acustiche dei materiali resilienti, utilizzati nei pavimenti galleggianti, a partire dalla proprietà meccaniche dei materiali stessi. Queste tecniche alternative possono risultare particolarmente vantaggiose qualora sia necessario eseguire delle prove a carattere comparativo tra varie tipologie di materiali, sia per la brevità dei tempi di realizzazione, sia per l'affidabilità dei risultati. Inoltre permettono di ottenere una previsione qualitativa del comportamento acustico per differenti condizioni di posa in opera e non solo dunque nella condizione controllata di laboratorio.

Le tecniche di misura alternative qui riportate riguardano esclusivamente i materiali elastici utilizzati nei pavimenti galleggianti.

In questo contesto si riportano alcuni esempi di tecniche di misura per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali resilienti utilizzati come isolanti in particolare nei pavimenti galleggianti. Per la caratterizzazione dei materiali utilizzati nei pavimenti galleggianti le misure più significative sono la rigidità dinamica, la resistenza al flusso, la comprimibilità e/o lo scorrimento viscoso a compressione.

A. Schiavi: *Tracce bibliografiche e documenti storici delle prime analisi scientifiche sperimentali sul rumore di calpestio*. Atti del Seminario "Il controllo del rumore di calpestio: progettazione e verifica ai sensi del D.P.C.M. 5-12-97", pp. 115-133, 2007

Questo articolo è una breve rassegna di alcuni documenti bibliografici del passato, raccolti presso la biblioteca dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, riguardanti il problema del rumore di calpestio e delle relative metodologie di misura adottate. In particolare si è cercato di rintracciare le prime pubblicazioni che ponessero in evidenza l'esigenza della protezione dalla trasmissione di rumori per via solida, le metodologie di misura, le tecniche di isolamento e le tipologie di materiali utilizzati ossia i primi lavori sperimentali sull'argomento reperibili nella letteratura scientifica sia nazionale che internazionale. Certamente il lavoro presentato non vuole essere una raccolta completa ed esauriente, ma solo una panoramica sulle radici storiche di questa specifica tipologia di misurazione.

A. Schiavi, A. Troia: *Le proprietà viscoelastiche di materiali polimerici utilizzati in applicazioni acustiche*. Atti del 34° Conv. Assoc. Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Questo articolo vuole essere una generale introduzione sulle proprietà viscoelastiche di materiali polimerici utilizzati come isolatori di vibrazioni in ambito acustico. L'intento degli autori è di portare all'attenzione il particolare comportamento, variabile nel tempo di queste tipologie di materiali, che può modificare le prestazioni acustiche previste attraverso le note procedure di misurazione delle proprietà meccaniche e di calcolo previsionale. L'impiego di materiali polimerici con proprietà viscoelastiche è largamente diffuso nell'ambito della protezione da trasmissioni di vibrazioni. Tali materiali sono utilizzati, ad esempio, come isolanti per desolidarizzare macchinari e sistemi vibranti, come sottofondi di pavimentazioni galleggianti nell'edilizia e come sottofondi smorzanti negli armamenti ferrotranviari, come guarnizioni in giunzioni di elementi composti e così via. Dalla caratterizzazione delle proprietà meccaniche di questi materiali è possibile individuare il comportamento acustico, in genere di isolamento o smorzamento delle vibrazioni. Tuttavia alcune procedure di misurazione e molti modelli di previsione del comportamento acustico si basano essenzialmente sulla determinazione proprietà elastiche "istantanee" dei materiali, considerando queste stesse proprietà come univoche per la caratterizzazione degli stessi. In prima approssimazione questo può essere vero e probabilmente non sempre si commettono errori significativi valutando le prestazioni istantanee dei materiali. Tuttavia alcuni materiali presentano comportamenti, dovuti a sollecitazioni meccaniche o termiche, che si modificano nel tempo, cosa che non dovrebbe accadere se i materiali presentassero proprietà elastiche ideali. I materiali che modificano il loro comportamento nel tempo, pur se sottoposti a cicli di misurazioni uguali, come cicli di *stress-strain* ad esempio, si definiscono materiali viscoelastici. La peculiarità dei materiali viscoelastici è di presentare difatti comportamenti "intermedi" tra i solidi elastici, nei quali, in accordo con la legge di Hooke, la pressione esercitata sul materiale (*stress*) è sempre direttamente proporzionale alla deformazione (*strain*) e i liquidi viscosi, in cui, in accordo con la legge di Newton, lo *stress* è direttamente proporzionale alla velocità di variazione della deformazione (*strain rate*); in condizioni di *stress* e *strain* finite, di variazioni di temperatura, di presenza di percentuali d'acqua o umidità, di sollecitazioni in particolari range di frequenza, il comportamento dei materiali viscoelastici può presentare deformazioni definite non-Hookeane o viscosità non-Newtoniane. In questo lavoro si intendono presentare, pur in linea estremamente generale, alcune proprietà chimico fisiche di una tipologia di polietilene espanso reticolato chimicamente e di una tipologia di poliestere espanso attraverso un'analisi

delle interazioni fra le diverse catene polimeriche e il gas intrappolato nel materiale sotto forma di bolle, che sono all'origine delle principali peculiarità del comportamento viscoelastico di tali materiali.

A. Schiavi, A. Pavoni Belli, F. Russo, M. Corallo: *Rigidità dinamica: indagine sperimentale sulla determinazione della frequenza di risonanza di un sistema massa-molla a forzante quasi – nulla*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

La Norma di riferimento relativa alla misura della rigidità dinamica di materiali resilienti utilizzati come sottofondi in pavimenti galleggianti (UNI EN 29052-1) contiene alcune carenze metodologiche, sulle quali, come riportato in precedenti lavori, sono state condotte ricerche e misure sperimentali. Un aspetto che richiede un particolare approfondimento riguarda l'andamento della frequenza di risonanza in funzione della forza di eccitazione, come già evidenziato da altri autori [5]; in questo articolo sono riportati alcuni risultati sperimentali sull'andamento della frequenza di risonanza di un sistema massa-molla a valori di forza di eccitazione quasi-nulla, ossia per valori della forza inferiori a 10^{-2} N.

La Norma indica che la frequenza di risonanza del sistema massa-molla (piastra di carico - materiale resiliente) deve essere ricavata mediante un'estrapolazione ad una forza di ampiezza nulla e contemporaneamente impone un preciso range di valori di forza: è ovvio che per effettuare un'estrapolazione, deve esserci una serie di letture della frequenza di risonanza a differenti valori di forza, particolarmente fitti nella parte iniziale della scala delle forze.

Per la valutazione sperimentale della dipendenza della frequenza di risonanza dalla forza di eccitazione, sono state condotte numerose misurazioni su tipologie di materiali resilienti utilizzati come sottofondi nei pavimenti galleggianti, come schiume poliuretatiche, cascami di stoffa, feltri sintetici, trucioli di gomma riciclata, con differenti caratteristiche di spessore, densità, modulo di elasticità, smorzamento e comprimibilità.

I primi risultati sperimentali sembrano convergere in particolare sulla modalità della dipendenza della frequenza di risonanza dalla forza di eccitazione per tutti i materiali esaminati. Infatti, come è esposto nel presente lavoro, i valori della frequenza di risonanza presentano un andamento di tipo logaritmico al diminuire della forza di eccitazione. Questo andamento della frequenza di risonanza, verificato sperimentalmente, pone il problema metrologico sulla tipologia di regressione da imporre ai dati della misura, aspetto questo non esplicitato nel documento normativo.

P. Tarizzo, A. Schiavi, S. Geroso, M. Masoero, P. Oliaro, A. Pavoni Belli: *Water-borne sound: Il problema della trasmissione per via solida di rumore generato da impianti idrico-sanitari*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

Il problema del rumore generato dagli impianti tecnologici è molto attuale, sostanzialmente perché la richiesta di vari tipi di comfort e di servizi negli edifici, sempre crescente nel tempo, ha ormai raggiunto un alto livello. Dal punto di vista acustico, le migliorate prestazioni degli elementi costruttivi (involucro edilizio, pavimenti flottanti) contribuiscono a porre in risalto il rumore impiantistico. Sotto questa luce, anche il rumore prodotto dagli impianti più essenziali e consolidati come quello idro-sanitario e di scarico, necessita di essere controllato. Nonostante la normativa riconosca da tempo il problema del rumore degli impianti negli edifici, il primo riferimento che stabilisce dei limiti è il D.P.C.M. 5/12/1997, ma questi non sono supportati da una campagna sperimentale di misure del rumore effettivamente emesso dai diversi tipi soluzioni impiantistiche, necessarie per un inquadramento sistematico del problema reale. A proposito di impianti idro-sanitari (water supply installations), la norma pr-EN 12354-5 riferisce che al momento non esiste un metodo standardizzato per descrivere la potenza sonora irradiata per via liquida e solida da questi impianti, come non esistono modelli di calcolo per prevedere le effettive forze in gioco.

Questo lavoro si propone di caratterizzare la sorgente "impianto idro-sanitario", attraverso lo studio dei fenomeni fisici di generazione e propagazione delle vibrazioni e la valutazione sperimentale delle grandezze in gioco, utilizzando la strumentazione idraulica della camera di prova dell'INRIM di Torino, a norma UNI EN ISO 3822-1.

A. Troia, S. Di Carlo, A. Binello, G. Cravotto: *Ultrasuoni e microonde nella bonifica ambientale*. Atti del 34° Convegno Associazione Italiana di Acustica (AIA), Firenze (Italy), giugno 2007 (cd-rom).

La bonifica ambientale ha la necessità di sperimentare tecniche nuove e più efficienti per la degradazione di sostanze inquinanti in soluzione acquosa. In questo contesto gli ultrasuoni (US) e le microonde (MW), possono fornire un notevole contributo per promuovere la degradazione di POPs (*Persistent Organic Pollutants*), inerti o poco reattivi verso ossidazione e dealogenazione. Le tecniche da noi utilizzate si inseriscono in una serie di trattamenti ossidativi noti come AOPs (*Advanced Oxidation Processes*), che promuovono la formazione di radicali ossidrilici¹, veri effettori della degradazione ossidativa. La reazione di

Fenton (Fe(II)/H₂O₂ a pH acido) ne è l'esempio più classico (Figura 1). $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^\bullet + OH^-$

Figura 1 – Reazione di Fenton La strategia adottata in questo lavoro sfrutta l'azione sinergica di ossidanti tipo Fenton e attivanti fisici quali gli ultrasuoni ad elevata intensità a 20 ed a 300 kHz. E' stato inoltre realizzato un prototipo di reattore a flusso nel quale si è potuto sfruttare anche l'effetto dell'irradiazione con le microonde.