



AUDIO ENGINEERING SOCIETY
Italian Section

ANNUAL MEETING 2005

Paper: 05009

**Como, 3-5 November
Politecnico di MILANO**

NUOVA LIUTERIA: CARATTERIZZAZIONE ACUSTO-VIBRAZIONALE DEI PLANOFONI, UN NUOVO STRUMENTO (E CONCETTO) PER LA MUSICA E L'ARTE CONTEMPORANEE

LORENZO SENO

Centro Ricerche Musicali, Roma

<http://www.crm-music.it>

Dipartimento di Nuove Tecnologie e linguaggi musicali, Conservatorio de L'Aquila (IT)

<http://www.mnt-aq.it>

lorenzo.seno@bigfoot.com

Le necessità espressive della musica contemporanea spingono compositori e ricercatori a definire nuovi strumenti e nuovi concetti della fruizione artistica. Da qualche anno il compositore Michelangelo Lupone lavora attorno al concetto di Planofono[®], installazione sonora planare (che unisce dunque alla musica aspetti visivi), della quale sono stati costruiti e installati molti esemplari di diversi materiali e forme. I Planofoni disegnano in campo vicino uno “spazio d’ascolto”, rendendo ancora più pregnante la loro definizione come elementi plastici: tali sono sia visivamente che dal punto di vista musicale. Questo lavoro illustra i risultati di una ricerca volta a caratterizzare i Planofoni e a impostare una metodologia per il loro design sotto il profilo acusto-vibrazionale. Nel corso della ricerca è stata utilizzata per la prima volta, grazie ad Umberto Iemma del Dipartimento di Ingegneria Meccanica Industriale dell’Università Roma 3, la Decomposizione di Karhunen-Loeve (KLD) per la ricostruzione delle forme modali a partire da misure vibrazionali

INTRODUZIONE

Da diversi anni il compositore Michelangelo Lupone ricerca e mette a punto nuove forme dell’espressione musicale che implicano in stretta correlazione aspetti musicali e visivi. Questo lavoro tratta specificatamente dei Planofoni[®], radiatori sonori planari utilizzati nell’ambito di installazioni d’arte. Senza entrare negli aspetti specificatamente artistici ed estetici, esso si limita a riferire di un lavoro di ricerca durato più di un anno per caratterizzare i Planofoni[®] da un punto di vista acusto-elastico ed elettroacustico, e per iniziare a gettare delle basi metodologiche per il loro progetto e la loro costruzione.

Questo genere di attività, che prevede un forte intreccio tra attività tecnico-scientifiche e artistiche, è stata significativamente battezzata “Nuova liuteria”, termine con il

quale si intende coprire sia nuovi strumenti acustici ed elettromeccanici, sia nuovi strumenti virtuali.

I Planofoni - come prodotto di una attività liutaria, sia pur “nuova” - non possono e non devono essere considerati mezzi di auralizzazione ad uso generale, ma insieme strumenti musicali ed opere. Questo lavoro renderà, tra l’altro, evidenti le motivazioni sottostanti questa considerazione.

1 INSTALLAZIONI

I Planofoni sono stati costruiti in materiali diversi (metallo, plexiglass, legno) e con forme molto diversificate. Si tratta di oggetti che vanno guardati e ascoltati da vicino, e da più punti di vista. Lo scopo è quello di creare acusticamente un campo vicino con forti gradienti spaziali, che fornisca dunque condizioni di ascolto variabili

a seconda del punto di ascolto, dando quindi una sensazione “plastica” dello spazio d’ascolto. Il desiderio dell’autore è evidentemente quello di controllare e prevedere, in sede di concezione, le condizioni di ascolto, così come accade per quelle della fruizione visiva.

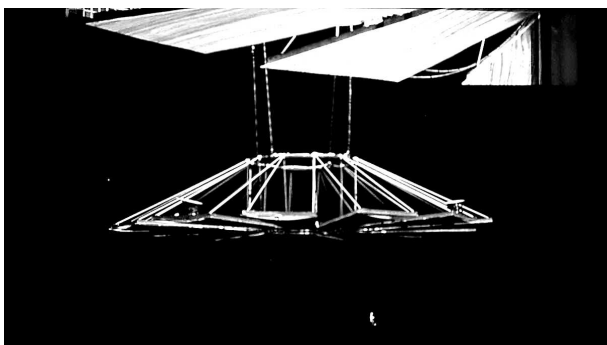


Figura 1: Installazioni di Planofoni all’Acquario Romano (Roma 1998)



Figura 2: Planofoni in primo piano e sullo sfondo alla Fortezza Spagnola (L’Aquila 1999)



Figura 3: Planofoni alla Sala Casella (Roma 2000)

2 IL LAVORO DI RICERCA

Ai fini dei risultati estetici, sia sul piano visivo che su quello musicale, la non regolarità delle forme è essenziale. Altro parametro di notevole importanza percettiva è lo smorzamento interno dei materiali utilizzati (e quindi il fattore di merito dei modi di vibrazione flessori), che caratterizza il “timbro” dei diversi Planofoni. Da questo punto di vista, la differenza tra materiali a scarso smorzamento interno come i metalli, e quelli a maggiore smorzamento come il legno o il plexiglass è notevole ed immediatamente percepibile, e qualifica l’aspetto “materico” sonoro dei Planofoni.

Le strutture planari che costituiscono i planofoni, che possono avere situazioni di vincolo le più disparate, in funzione degli effetti acustici voluti e di esigenze pratiche o visive, sono poste in vibrazione mediante dispositivi piezoceramici a flessione (*bender*) che vengono posizionati con tecniche “liutarie” per scegliere il punto, o i punti, di eccitazione più adeguati in funzione dei risultati desiderati.

Questo insieme di caratteristiche dei Planofoni, che rappresenta la loro specificità estetica, rende estremamente complessa la costruzione di modelli anche approssimati, in grado di dare conto del loro comportamento acusto-elastico ed elettroacustico, e di fornire metodi di previsione dei risultati.

La ricerca è stata eseguita su Planofoni in legno armonico, materiale che dal punto di vista degli obiettivi della ricerca presenta le maggiori difficoltà, essendo ortotropo e non perfettamente omogeneo, oltre che meno riproducibile rispetto ai materiali artificiali.

2.1 Prototipi

Le forme prototipali adottate sono state appositamente disegnate da Michelangelo Lupone senza tenere conto delle esigenze della ricerca, ma seguendo esclusivamente criteri estetici. Sulle tre forme il compositore ha anche composto tre brani musicali specifici, adeguati e all’aspetto visivo delle forme, e alle loro caratteristiche acusto-elastiche. Sui prototipi sono inoltre state effet-

tuate le lavorazioni tipiche della liuteria, incatenatura e verniciatura, allo scopo di ottenere dei prodotti finiti.

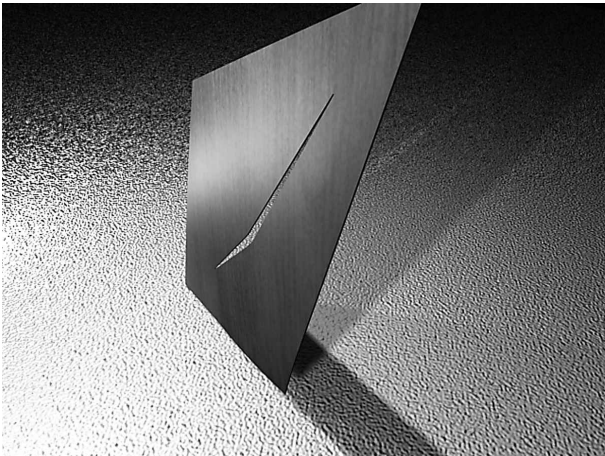


Figura 4: Prima forma prototipale. Modellazione 3D



Figura 5: Seconda forma prototipale. Modellazione 3D

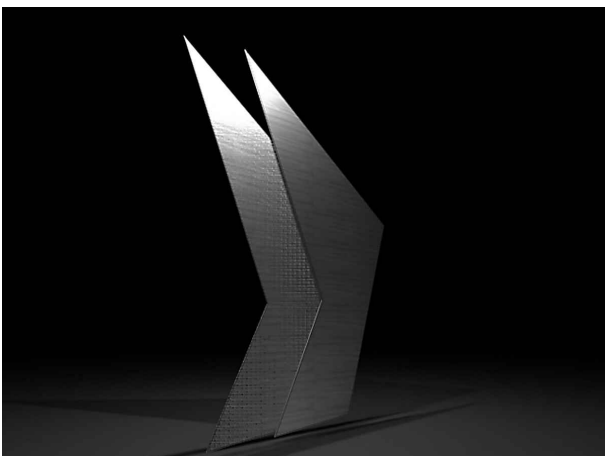


Figura 6: Terza forma prototipale. Modellazione 3D.

Delle tre forme, la più semplice è la seconda, composta di un unico pezzo senza soluzioni di continuità. La prima presenta una fenditura che ha lo scopo, oltre che estetico-visivo, di aiutare a creare un campo vicino fortemente variabile nello spazio, a causa del gioco delle fasi dei due lembi (che possono vibrare non in fase, e con sfasamenti variabili a seconda del modo).

La terza forma è composta da due parti indipendenti (accoppiate solo acusticamente), destinate ad essere eccitate in controfase. L'idea dominante, come si vede, è quella di plasmare ("scolpire") il campo vicino in modo da ottenere gradienti accentuati e condizioni d'ascolto fortemente variabili, dando l'idea di uno "spazio" acustico attorno all'oggetto.

Su tutte le forme, ottenute per incollaggio di tavolette rettangolari in legno armonico di spessore 10 mm, successivamente portate a 4 mm. mediante levigatura e sagomate opportunamente, sono state incollate catene secondo criteri di liuteria classica.

2.2 Funzione delle catene

Per "legno armonico" si intende un legno di buona elasticità (non rigido), selezionato in modo da ottenere caratteristiche elastiche le più omogenee e le più riproducibili possibile. Vengono in particolare escluse zone con nodi o con variazione accentuata nella densità delle fibre, e tronchi che non presentino zone vaste con queste caratteristiche, e con una predeterminata densità di fibre (quindi, con un predeterminato modulo di Young).

Nonostante i procedimenti di selezione, il legno armonico resta, ovviamente, spiccatamente ortotropo. In particolare, la velocità di propagazione per onde di flessione è fortemente dipendente dalla direzione rispetto alle fibre: maggiore per la direzione longitudinale rispetto a quella trasversale, di un fattore variabile che si situa grosso modo attorno a 5.

Il legno è generalmente descritto con tre moduli di Young e tre rapporti di Poisson, uno per asse rispetto alla direzione della fibra [1].

Lo scopo delle catene è molteplice: da una parte aumentare la robustezza meccanica complessiva per ragioni pratiche. Inoltre, mediante un accurato posizionamento, esse irrigidiscono in modo anisotropo la piastra riavvicinando le due caratteristiche elastiche. Infine, conferiscono alle forme una lieve bombatura necessaria sia per ragioni estetico-visive, sia per il mantenimento nel tempo di una forma costante. La bombatura infine ha come effetto collaterale quello di precaricare le piastre, portandole a lavorare attorno ad un punto di lavoro più alto rispetto alla posizione di riposo, irrigidendo quindi lievemente la piastra stessa e conseguentemente innalzando le frequenze dei modi.

L'incatenatura è stata eseguita con l'ausilio determinante di esperti liutai, che hanno fatto uso delle loro esperienze nel campo della costruzione di strumenti musicali a corda e ad arco.

2.3 Simulazioni

Data la non regolarità delle forme utilizzate, e della loro complessità, a ben poco servono le soluzioni note del problema delle piastre rigide [2]. La previsione del comportamento può quindi essere effettuata solo sulla base di simulazioni numeriche (basate su principi primi), validate mediante opportune misure.

Grazie ad Umberto Iemma del DIMI (Facoltà di ingegneria - Università Roma3) si è potuto procedere a delle simulazioni FEM, alcune della seconda forma libera, altre con una forma rettangolare, più semplice, ma incatenata secondo criteri liutari. In casi come il nostro i risultati della FEM non possono essere recepiti senza validazione (soprattutto sul piano frequenziale, che è un parametro percettivamente sensibile), trattandosi di forme fortemente irregolari e inusuali anche per la FEM, e di strutture di catene complesse. Uno degli scopi prefissi era quello di verificare la correttezza dei risultati FEM validandoli sperimentalmente. Non è stato possibile raggiungere questo obiettivo a causa di difficoltà intercorse nella campagna di misura, e in ultima analisi del tempo a disposizione, insufficiente a risolverle. Di queste difficoltà diamo conto nel seguito.

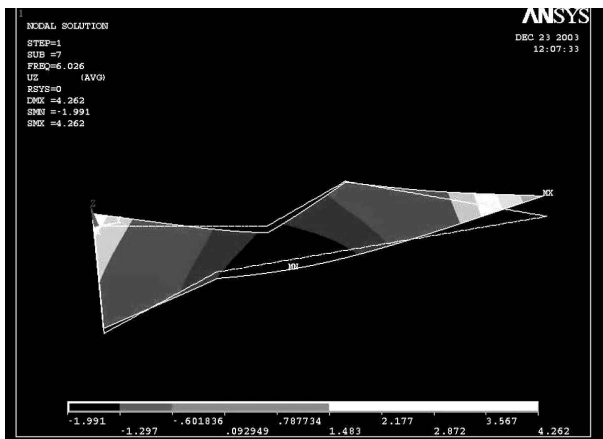


Figura 7: FEM: Modo a 6 Hz forma 2 libera

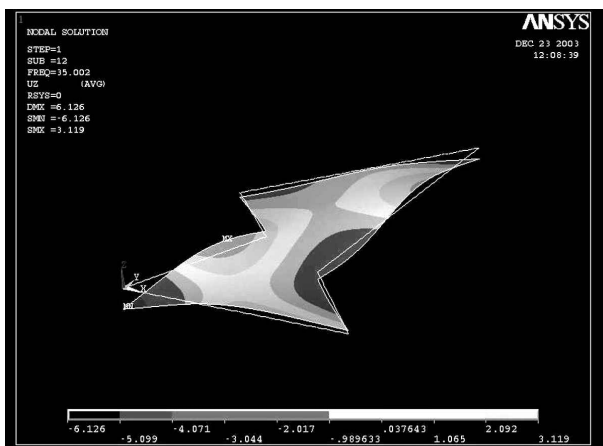


Figura 8: FEM: Modo a 30 Hz forma 2 libera

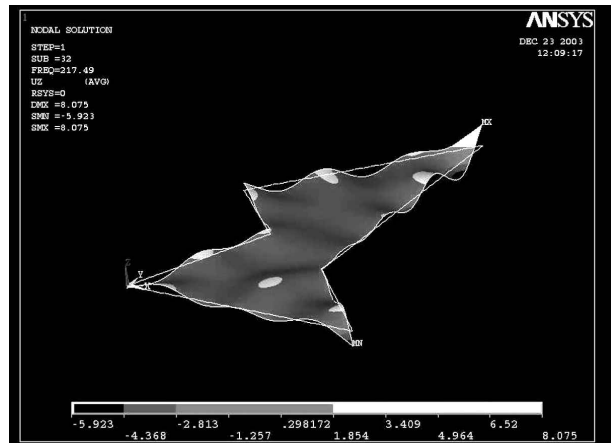


Figura 9: FEM: Modo a 217 Hz forma 2 libera

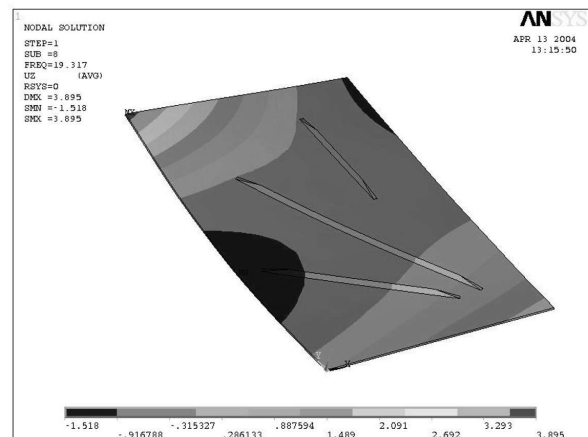


Figura 10: FEM: Modo a 19 Hz tavoletta rettangolare con catene.

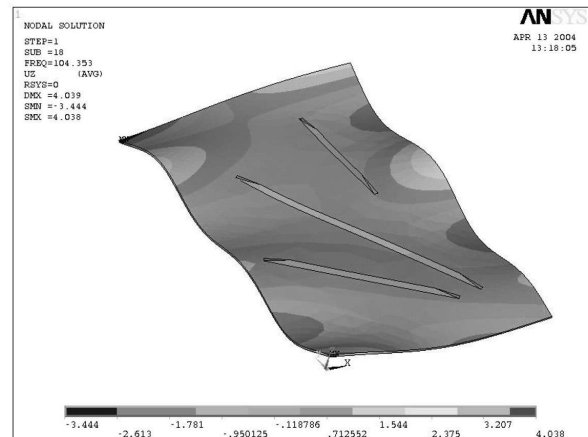


Figura 11: FEM: Modo a 104Hz tavoletta rettangolare con catene.

3 MISURE

Sono state effettuate due famiglie di misure: Un primo gruppo era volto alla individuazione delle forme modali e delle relative frequenze. Un secondo era volto alla

caratterizzazione elettroacustica del sistema forme-piezoceramici, e alla caratterizzazione acustica complessiva delle forme.

3.1 Misure KLD

Il DIMI [3], [4], [5], ha quindi proceduto ad una rilevazione delle forme modali utilizzando la Decomposizione di Karhunen-Loeve (KLD) [6], [7] a partire dai dati provenienti da un dispositivo di rilevazione basato su un misuratore di posizione ad interferometria laser a banda larga (10 KHz), messo a punto appositamente presso lo IVALSA CNR di San Michele all'Adige (TN), e battezzato per l'occasione "modografo". L'apparecchiatura è basata su di una movimentazione XY che sposta per passi successivi, lungo un cammino bistrofedico, la testa laser di misura, mentre la piastra sotto esame viene eccitata con un segnale stazionario a larga banda (uno sweep).

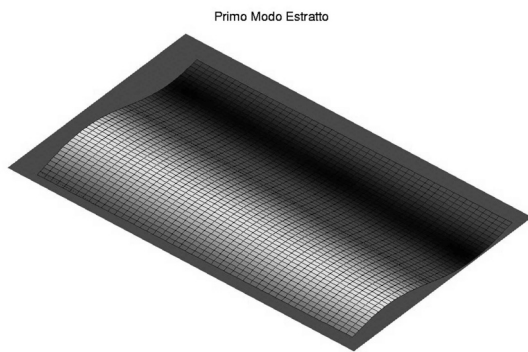


Figura 12: 1° modo KLD: (0,2)

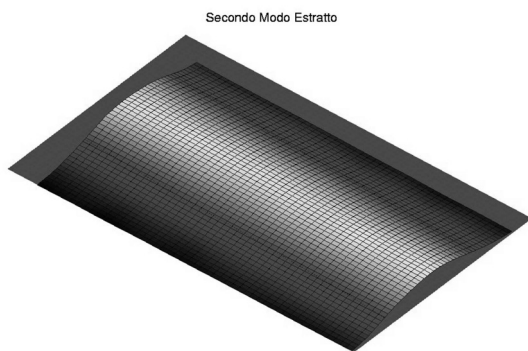


Figura 13: 2° modo KLD (0,1)

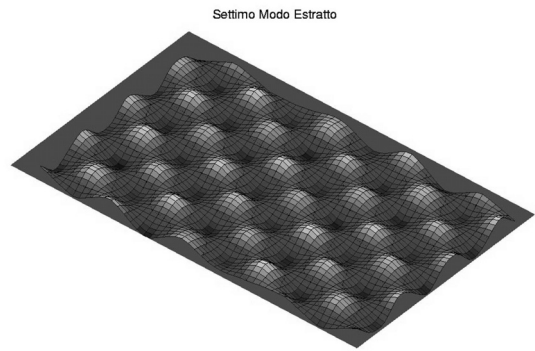


Figura 14: 7° Modo KLD: (7,9)

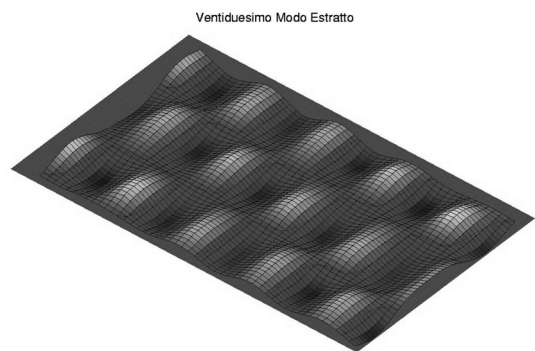


Figura 15: 22° Modo KLD: (9,3)

Lo spostamento della testa, da un punto al successivo, è sincronizzata con il periodo di ripetizione dell'eccitazione, e quindi il processo è equivalente ad un rilevamento sincrono e contemporaneo su tutti i punti di misura. Questo è in effetti il dato richiesto dal procedimento KLD. Le prove si sono arrestate ad un test su tavolette rettangolari, perché il sistema di misura a scansione ha evidenziato la presenza di disturbi (sinusoidali) di ampiezza elevata e lentamente fluttuante che hanno parzialmente inficiato il processo di misura.

Il procedimento KLD estrae i modi in ordine di energia decrescente, ed in tale ordine sono qui mostrati.

Ciò che comunque è stato possibile accertare è che il rumore dovuto agli *speckle* del laser è decorrelato rispetto al segnale e non disturba il processo di misura. Anche i disturbi autocorrelati sopra riferiti non hanno impedito di ricostruire le forme modali, ma hanno provocato un notevole errore sul calcolo delle frequenze modali.

I risultati sono stati sostanzialmente positivi, perché hanno mostrato che per questa via è possibile ricostruire le forme e le frequenze modali, a patto di mettere a punto il sistema di misura. Senza entrare in ulteriori dettagli, per i quali rimandiamo a futuri lavori del DIMI,

mostriamo qui alcune forme modali ricostruite mediante KLD. Un miglioramento del processo di misura può condurre ad una determinazione affidabile e delle forme e delle frequenze modali. Questo permetterà in futuro la validazione dei metodi FEM, e comunque la possibilità di verificare in modo meno empirico la funzione e il corretto posizionamento delle catene e degli attuatori.

3.2 Misure globali e elettroacustiche

La densità modale delle strutture bidimensionali cresce piuttosto rapidamente con gli indici di modo, ovvero con la frequenza. Una disamina modo per modo diventa quindi impraticabile e inutile. Per avere una visione sintetica del comportamento della piastra la misura più adeguata e quella di una funzione di trasferimento globale per una determinata collocazione del piezoceramico e per un certo numero di punti di ascolto. Naturalmente questa misura permette di verificare se la funzione di trasferimento è sufficientemente piatta rispetto agli scopi musicali, ma non è in grado di fornire nessuna indicazione sulle misure da intraprendere nel caso i risultati siano insoddisfacenti.

Dal punto di vista elettroacustico, si è anche misurata l'impedenza (complessa) dell'attuatore libero e "caricato" dalla piastra.

Le funzioni di trasferimento globali sono state misurate nei punti indicati nelle figure, e hanno mostrato tutte il tipico andamento "passa-alto", che può essere compensato elettronicamente solo in parte, per frequenze non molto basse. Nella zona grave, infatti, la densità modale è bassa, e la piastra ha un comportamento sostanzialmente risonante. Per brevità si riportano solo le misure relative alla forma n. 1.

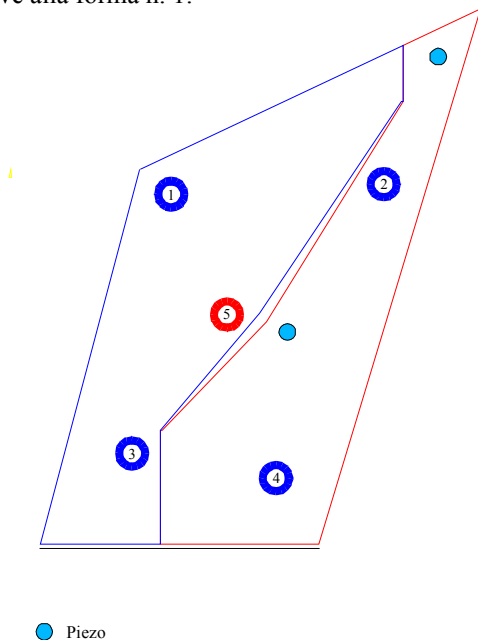


Figura 16: Collocazione degli eccitatori e dei punti di misura sulla forma N. 1

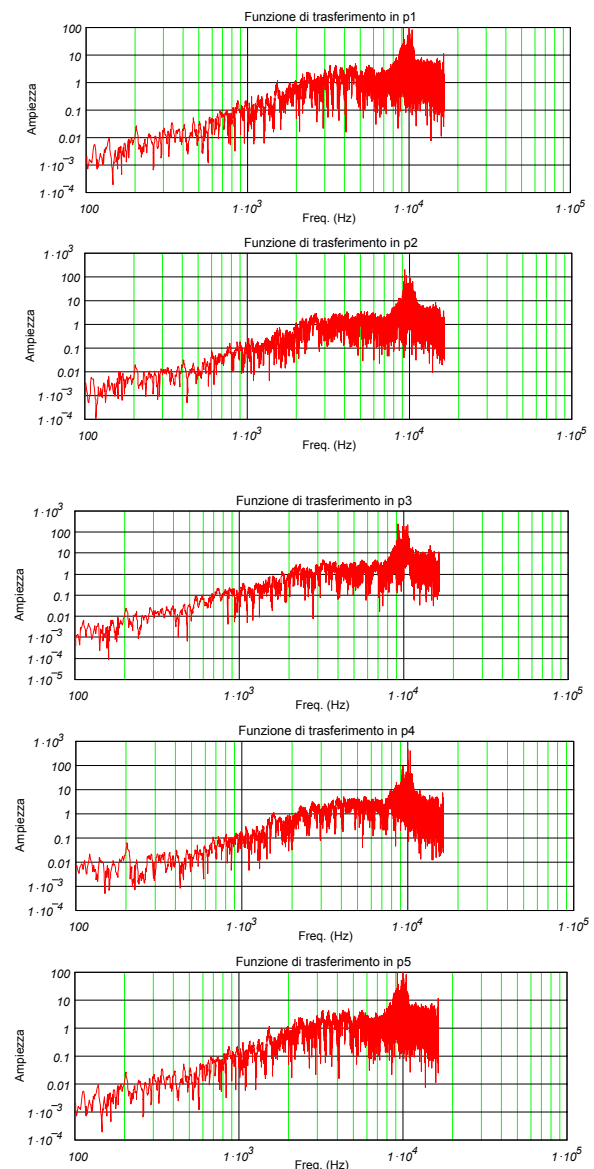


Figura 17: Forma n. 1 - Funzioni di trasferimento nei punti p1, p2, p3, p4 e p5 a 10 cm dalla piastra.

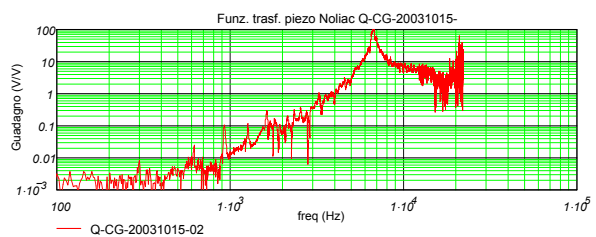


Figura 18: Funzione di trasferimento acustica di un bender piezoceramico libero a 10 cm di distanza.

L'impedenza del piezoceramico libero mostra il caratteristico comportamento risonante, che sparisce una volta incollato alla tavola. In queste condizioni il suo comportamento diventa sostanzialmente capacitivo, il che crea

il noto problema di alte correnti alle alte frequenze, anche in presenza di potenze piccole ($\cos \varphi \approx 90^\circ$).

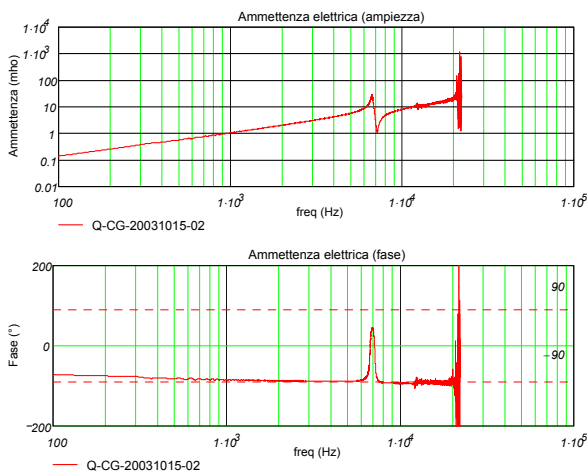


Figura 19: Ammettenza elettrica di un bender piezoceramico libero. (Ampiezza e fase).

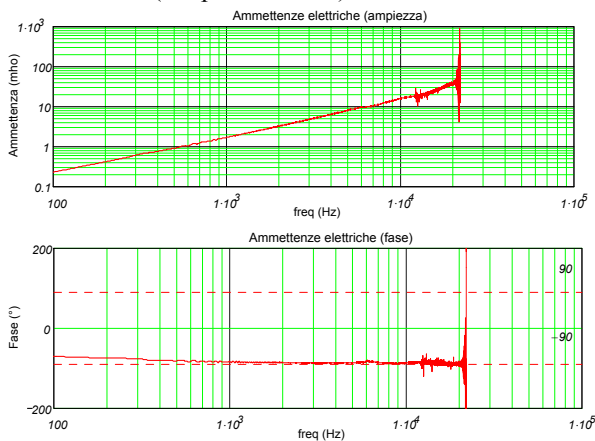


Figura 20: Ammettenza elettrica del piezoceramico ancorato alla tavola, che mostra una caratteristica decisamente capacitiva. (Ampiezza e fase).

4 CONCLUSIONI

Molto lavoro resta ancora da fare sul piano della validazione dei modelli previsionali, ma i risultati raggiunti, anche se parziali, mostrano che gli obiettivi sono raggiungibili essenzialmente migliorando gli strumenti e i metodi di misura.

Dal punto di vista della verifica della funzionalità acustica dei pianofoni, resta confermata la loro caratteristica fondamentale passa-alto, che in molti casi deve essere compensata con un postprocessamento dei brani a loro associati. Questa caratteristica è legata intrinsecamente alle modalità di eccitazione e ai trasduttori utilizzati, e può quindi essere superata solo rivedendo questi due aspetti. Dal punto di vista artistico, però, anche questo deve essere considerato uno degli aspetti "materici" dei Pianofoni, dei quali il compositore deve tenere conto esattamente come fa quando scrive per uno speci-

fico strumento, il quale ha una sua precisa estensione e una sua caratteristica timbrica intrinseca.

REFERENCES

- [1] Wood Handbook - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Da: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/FPLGTR/fplgtr113/fplgtr113.htm>
- [2] N.H.Fletcher, T.H Rossing, The Physics of Musical Instruments. Springer, NewYork, 1991
- [3] Iemma, U., Diez, M., Morino, L. "Experimental modal identification of structures: the Karhunen-Loeve decomposition revisited", atti del 11th International Congress on Sound and Vibration ICSV11, St. Petersburg, Russia, Luglio 2004.
- [4] Iemma, U., Morino, L., Diez, M., "Digital Holography and Karhunen-Loeve decomposition for the modal analysis of two-dimensional vibrating structures." Accettato per la pubblicazione su Journal of Sound and Vibration.
- [5] Iemma, U., Diez, M., Morino, L., "An extended Karhunen-Loeve decomposition for modal identification of inhomogeneous structures." Accettato per la pubblicazione su Journal of Vibration and Acoustics.
- [6] Karhunen K., "Zur Spektraltheorie stokastischer Prozesse," Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. A, 1 (1946).
- [7] Loeve M., "Fonctions aleatoire de second ordre," Compte Rend. Acad. Sci. (Paris) 220 (1945).



Lorenzo Seno è nato a Bologna nel 1948, e dai primi anni di vita ha vissuto e studiato a Roma, dove si è laureato in fisica con 100 e lode nel 1975 con una tesi in astrofisica sperimentale nell'infrasesso vicino. È stato Direttore di Ricerca e Sviluppo di aziende di tecnologie informatiche ed elettroniche in campo civile dell'area romana, fino al 1996. Dopo cinque anni di insegnamento di informatica e strumenti informatici avanzati per l'economia presso la Facoltà di economia dell'Università Roma 3, attualmente insegna elaborazione numerica del segnale sonoro presso il Dipartimento di Nuove tecnologie e linguaggi musicali del Conservatorio di L'Aquila. È direttore scientifico del Centro Ricerche Musicali di Roma. Svolge da anni attività di ricerca nel campo della elaborazione numerica del segnale sonoro e della sintesi per modelli fisici, dei diffusori audio non convenzionali e della spazializzazione, della nuova liuteria, della acustica delle sale. Dal 1996 svolge parallelamente un'attività di libero professionista in campo acustico, psicoacustico e dell'elaborazione numerica del segnale per applicazioni non solo sonore e musicali (spazio, automobilistica, biomedicina).