

# progettando <sup>ing</sup>o

ANNO X, N. 1 GENNAIO-MARZO 2015

Poste Italiane s.p.a. - Sped. in A. P. - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1, comma 1, DCB Firenze 1

## Suoni

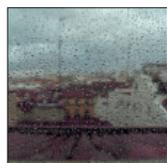


Nerbini



# SOMMARIO

---

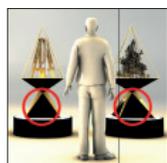


**3** *Editoriale* di Giuliano Gemma  
Suoni, parole



**29** Suoni dallo spazio profondo  
*Giuliano Gemma*

## RIFLESSIONI



**5** Suoni e rumori  
*Sergio Luzzi, Lucia Busa*



**38** Suono dell'architettura /  
Architettura del suono  
*Marina Gambini*



**15** Mitigare il rumore delle stazioni elettriche  
*Francesco Borchi, Sergio Luzzi,  
Matteo Goretti, Alfio Ali,  
Marilena Amoretti, Gilberto Ricci,  
Alberto Giorgi*

## CONTEMPORANEA



**48** Logos e phonè, pensiero e voce:  
l'essenza del teatro classico  
*Cristina Minucci*



**23** Il rischio da rumore nelle attività  
lavorative  
*Bruno Magaldi*



**54** Trametes  
*Daniele Lombardi*



## Suoni

Trimestrale d'informazione  
dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze

Viale Milton 65 – 50129 Firenze  
Tel. 055/213704 – Fax 055/2381138  
e-mail: info@ordineingegneri.fi.it  
URL: www.ordineingegneri.fi.it

Anno X, n. 1  
gennaio-marzo 2015

Direttore: Giuliano Gemma  
(progettando.direttore@nerbini.it)

Comitato di redazione: Daniele Berti, Alessandro Bonini,  
Piero Caliterna, Maria Francesca Casillo, Carlotta Costa,  
Beatrice Giachi, Alberto Giorgi, Nicoletta Mastroleo,  
Alessandro Matteucci, Daniela Turazza,

Direttore responsabile: Cinzia De Salvia

Realizzazione editoriale: Prohemio editoriale srl, Firenze

© 2015 – Edizioni Nerbini  
Via G.B. Vico, 11 – 50136 Firenze  
Tel. 055/200.1085  
e-mail: edizioni@nerbini.it  
www.nerbini.it

ISSN 2035-7125  
ISBN 978-88-6434-166-8

Segreteria di redazione: Francesca Serci  
(progettando.redazione@nerbini.it)

Redazione: Andrea Schillaci

Impaginazione: Barbara Giovannini  
(ufficiografico@nerbini.it)

Prestampa e versione digitale: Inscripta

Stampa: Daigo Press, Limena (PD)

Autorizzazione del Tribunale di Firenze  
n. 5493 del 31.5.2006 (R.O.C. n. 17419)

Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore  
e non impegnano l'Ordine e/o la direzione e/o l'editore  
della rivista.

Foto di copertina: Daniele Stefanizzi.

Quarta di copertina: Luci nella notte di San Lorenzo,  
di Giuliano Gemma

### RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la gentile collaborazione a  
questo numero Woodi Forlano, Daniele Stefanizzi,  
Giovanni Morlino per il suo prezioso contributo, tutti  
i collaboratori e autori di Progettando Ing.

Errata corrige: a pagina 21 del numero 2 del 2014  
"Leggerezza" la didascalia è errata. Quella corretta è  
"Waterloo station. Scatto di Woodi Forlano." Ci scusiamo  
con gli autori per l'inconveniente.



# Suoni, Parole

## Tempi e contesti

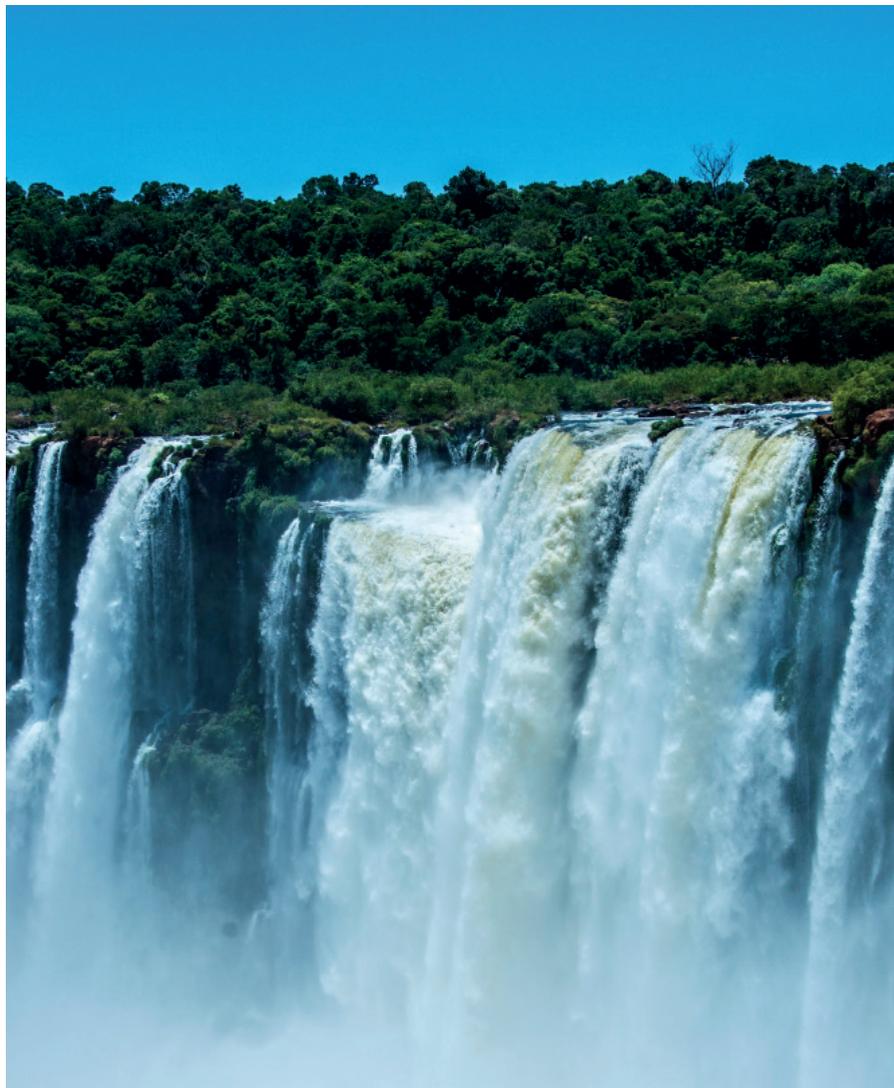
di  
**Giuliano Gemma**

Pioggia battente, Lavapiés,  
Madrid. Scatto di Woodi  
Forlano.

**SI DICE CHE GLI OCCHI** siano lo specchio dell'anima. Lo saranno allora anche il modo di esprimersi, di agire e di sentire. I suoni ci connettono con l'ambiente, le tecnologie ne potenziano l'interazione. Proponiamo in questo numero solo una manciata fra gli innumerevoli argomenti intorno alla parola *suono* ma lo spettro coperto è ampio: acustica, progettazione, materiali, tecnologie, legislazione, spazio, storia, arte e musica.

Il suono è energia in movimento. Il significato è l'energia di una parola, che varia a seconda dei modi e dei contesti in cui si cala. L'energia di un discorso non risulta dalla semplice sommatoria dei suoi termini. *M'illumino d'immenso*<sup>1</sup>. Quattro parole ed ecco sprigionarsi un'energia colossale in una sinestesia di rara ed universale bellezza.

<sup>1</sup> *Mattina*, di Giuseppe Ungaretti.



termine, quando tutti si sentivano sicuri che carneficine di tali proporzioni non si sarebbero mai più ripetute, arrivarono fascismo e nazismo, che trovarono armi potenti nella trasformazione del linguaggio e nella propaganda. E dato che quest'anno ricorre il settantesimo anniversario della fine della seconda guerra mondiale e che alcune riflessioni sulla libertà sono d'uopo, queste dovrebbero passare anche dal mantenere vivo, molteplice e stimolante l'interesse sulle forme linguistiche, le tecnologie, l'arte, la cultura e l'informazione.

Vogliamo fare la nostra piccola parte in ciò e concludiamo con un pensiero di Giorgio Gaber: *Libertà è partecipazione*<sup>3</sup>. —

**“La libertà  
non è star sopra un albero  
non è neanche il volo di un moscone  
la libertà non è uno spazio libero  
libertà è partecipazione”**

*Giorgio Gaber*

Cascate.  
Scatto di Daniele Stefanizzi.

Eduardo Galeno, presentazione de “I figli dei giorni”, 7 giugno 2012, La Tabacalera, Lavapiés Madrid. Scatto di Woodi Forlano.”

E tutto d'un tratto l'opposto, ogni volta in cui si assiste alla pigra riduzione del linguaggio a pochi termini, a carnevali di significati e comunicazioni degeneri.

La *Neolingua*, una lingua costruita ad arte al fine di propagandare i principi del Socing (la dottrina della società distopica narrata da George Orwell in 1984<sup>2</sup>) ed impedire il solo formarsi di pensieri eretici, si fondava sulla soppressione di vocaboli e di significati eterodossi dalla lingua originaria, l'inglese, oltre che su una nuova grammatica. Non è uno scenario alle porte, per fortuna l'arte e la cultura offrono un argine abbastanza solido a derive simili. Però cent'anni fa l'Italia entrò nel primo conflitto mondiale ed al suo

<sup>2</sup> I principi della *Neolingua* sono riportati nell'appendice di 1984.

<sup>3</sup> Il brano *La Libertà* è contenuto nell'album “Dialogo tra un impiegato e un non so” che raccoglie le canzoni dell'omonimo spettacolo scritto da Giorgio Gaber e Sandro Luporini.



# Suoni e rumori

## L'importanza della progettazione

Sergio Luzzi\*, Lucia Busa\*

### Introduzione

I suoni caratterizzano l'esperienza sociale e i rapporti con le comunità, il modo in cui ci relazioniamo agli altri, a noi stessi, agli spazi e ai luoghi che abitiamo.

I suoni si combinano con le immagini e le altre acquisizioni sensoriali, in modo congiunto o alternativo, a volte armonico, altre prevalente.

Le orecchie non hanno palpebre. È più facile e immediato chiudere gli occhi e oscurare la vista di cose che non vogliamo vedere piuttosto che chiudere le orecchie e non sentire suoni che disturbano [1].

Eppure nella gerarchia dei sensi lo status epistemologico dell'udito, come quelli di olfatto, tatto e gusto, è nettamente inferiore a quello della vista: la dominanza del visivo, dal Rinascimento fino alla fine del ventesimo secolo, ha sacrificato l'esperienza sensoriale dell'udito e degli altri sensi, che nell'arte figurativa e nella letteratura sono risultati spesso filtrati all'interno del contesto visuale.

Analoga priorità di considerazione si è espressa nelle architetture che hanno caratterizzato i secoli del secondo millennio, così come nelle scelte urbanistiche di chi ha progettato gli spazi urbani.

### La "rivoluzione" dei Paesaggi Sonori

Da qualche decennio si assiste a una lenta ma significativa inversione di tendenza, legata all'affermarsi della teoria dei paesaggi sonori, introdotta da R. Murray Schafer nel suo celebre e ambizioso *World Soundscape Project* descritto in *Our Sonic Environment and The Tuning of the World*. Questo progetto ha l'obiettivo di trovare soluzioni per un paesaggio sonoro in equilibrio ecologico, dove le relazioni fra gli esseri umani e l'ambiente sonoro possano tendere all'armonia [2].

Nel modello analitico proposto da Schafer si inseriscono come elementi di paesaggio sonoro sia i suoni della natura che i suoni della società tecnologica. La *soundscape analysis* può essere quindi applicata alla progettazione di spazi di vita, ambienti aperti e costruiti dove i suoni naturali e artificiali di natura fisica, biologica o antropica possono contribuire in modo armonico alla definizione identitaria dei luoghi. Con l'affermarsi dei modelli di sviluppo sostenibile delle città e delle teorie del comfort globale nella definizione degli spazi urbani, che portano regole e vincoli di carattere energetico e ambientale, si assiste quindi a una ridefinizione del concetto di paesaggio urbano. In questo contesto, il paesaggio che caratterizza e identifica un luogo comprende necessariamente anche il paesaggio sonoro, con le sue componenti naturali, chiamate "geofonie" e "biofonie" (vento, acque correnti, pioggia, suoni e vocalizzazioni di animali), così come con quelle artificiali, dette "antropofonie", in quanto prodotte dalle attività umane (voci, macchinari, automobili, treni, aerei).

\* VIE EN.RO.SE.  
Ingegneria s.r.l.,  
Firenze



L'architettura e il design di edifici, spazi pubblici e privati, piazze e quartieri, sempre meno architettura dell'elemento e sempre più architettura del paesaggio, diventano dunque una disciplina complessa, caratterizzata da un metodo di analisi e progettazione multi-sensoriale che prevede canoni estetici e funzionalità che devono tener conto dei cinque sensi dei fruitori. All'interno di questo ampio spettro con cui si ridisegna la consapevolezza spaziale dello spazio progettato, l'ambito sonoro riveste particolare importanza.

Chi progetta con sensibilità al paesaggio sonoro di un ambiente esterno o costruito, non dovrebbe solo lavorare al miglioramento della qualità o della funzionalità dello spazio acustico ma anche, in un certo senso, celebrarlo, creando un dialogo tra il suono e lo spazio che lo ospita. In alcuni importanti studi di architettura, fra cui il londinese Ab Rogers Design, con cui gli autori collaborano e da cui sono tratte alcune delle immagini di questo articolo, il tema del suono

***Ci sono elementi fonoassorbenti e fonoisolanti, deflettori e riflettori acustici realizzati con materiali molto vari e versatili, che possono entrare a far parte del processo di progettazione***

è considerato fin dalle prime fasi della progettazione. In questo modo, si evita che le conseguenze di un'errata progettazione della componente acustica del paesaggio debbano essere affrontate a posteriori, magari da tecnici diversi dai progettisti delle opere, diventando così non elementi della progettazione ma solo problematiche da risolvere. Ci sono elementi fonoassorbenti e fonoisolanti, deflettori e riflettori acustici realizzati con materiali molto vari e versatili, che possono entrare a far parte del processo di progettazione, comparando nei primi schemi concettuali, orientando così le successive scelte e diventando di fatto una componente estetica del progetto assieme a tutto resto. Questi elementi possono essere componenti edilizie standard, quali partizioni e solai, componenti edilizie aggiunte, legate all'isolamento termico e acustico o alla semplice correzione acustica, quali pannelli,

rivestimenti e altre superfici. In alternativa o in aggiunta agli elementi strutturali, ci sono poi gli elementi acustici che possono essere "inseriti" nel progetto, come baffles appesi, elementi di arredo o vere e proprie sculture che assorbono i suoni, che li riverberano o che ne impediscono la trasmissione.

Nel Padiglione della Polonia alla Biennale di Architettura di Venezia del 2012, Katarzyna Krakowiak aveva creato una mappa che seguiva e si "accoppiava" con la performance acustica dell'ambiente, progettando un interno che era adattato alle frequenze sonore che voleva usare. Ne risultò un soffitto a cupola, un pavimento in pendenza e un impianto di diffusione che distribuiva suoni in uno spazio perfettamente bilanciato.

### **L'acustica nella progettazione integrata**

L'idea che si debbano considerare i diversi aspetti della progettazione (architettonica, strutturale, impiantistica) come un insieme armonico di scelte metodologiche, quantitative e qualitative, si sta sempre più affermando nell'impostazione del lavoro dei team di architetti e ingegneri incaricati di progettare spazi destinati alla fruizione pubblica. L'integrazione per essere davvero efficace deve comprendere anche i contributi progettuali degli esperti di acustica, da considerare come veri e propri elementi discriminanti nelle scelte di progetto. Ciò appare indispensabile nei teatri e negli altri spazi destinati all'ascolto, la cui funzione primaria è offrire a chi li frequenta la massima qualità acustica per ciascuna delle diverse rappresentazioni che vi si tengono. Vi sono poi altri spazi pubblici: ristoranti, spazi espositivi e, ultimamente, negozi e centri commerciali, dove è forte la componente di rumore antropico e alto il livello di percezione del comfort a livello multi-sensoriale, per i quali la progettazione acustica è diventata elemento discriminante e, a volte, critico, per la qualità acustica dell'ambiente progettato. Per tutti questi manufatti, il ruolo del progettista acustico all'interno del team di progettazione è importante fin dalle prime fasi di definizione del concept che delinea l'idea progettuale.

## Un caso esemplare – la mostra Digital Revolution al Barbican Centre

Il Barbican Centre di Londra è il più grande centro culturale e teatrale d'Europa. Nei molti spazi di questo complesso si tengono concerti di musica classica e contemporanea, spettacoli teatrali, mostre d'arte e conferenze. Vi hanno sede anche varie sale cinematografiche, una biblioteca pubblica e tre ristoranti. Allo stesso tempo, la London Symphony Orchestra e la BBC Symphony Orchestra hanno sede e svolgono la loro attività nell'auditorium del Barbican Centre.

Nell'estate del 2014 un grande evento, denominato "Digital Revolution", è stato organizzato in alcuni spazi del Barbican. La mostra principale, allestita per celebrare la storia e il futuro del mondo digitale, era basata su un'enorme quantità di elementi diversi destinati a diffondere immagini e suoni. Questa mostra è stata allestita nella galleria denominata "The Curve", uno spazio curvo che circonda la principale sala da concerto dove hanno luogo spettacoli e prove della London Symphony Orchestra.

La mostra è stata progettata come un percorso all'interno della trasformazione delle arti attraverso la tecnologia digitale dal 1970 ai giorni nostri e oltre: l'idea era quella di una mostra coinvolgente e interattiva che riunisse vari artisti, registi, architetti, designer, musicisti e sviluppatori di giochi, presentando oggetti e installazioni, immagini e suoni digitali.

Gli autori di questo articolo hanno curato la progettazione acustica della mostra. In particolare, hanno lavorato alla definizione di elementi acustici e di soluzioni per l'isolamento acustico tra l'area espositiva della galleria curva e la sala da concerto adiacente, considerando la loro

vicinanza e la contemporaneità delle funzioni. Il contributo più rilevante è stato dato nella progettazione acustica della zona chiamata "Music Box", una stanza che contiene un progetto, denominato "Sound and vision", creato dal musicista pop Will.I.am. e dal sound artist e designer Yuri Suzuki. Il progetto, denominato Pyramidi, è caratterizzato da una stanza dipinta di nero, in cui, grazie a un artificio, lo sguardo di Will.I.am in abito antico egiziano e la sua musica seguono i visitatori in giro per la stanza, qualunque sia la posizione da essi occupata.

Si tratta di una statua digitale realizzata con sensori e mini display installati in forme concave che determinano l'effetto visivo, mentre tre strumenti formati da macchine robotiche suonano ad alto volume un brano di Will.I.am, *Dreamin' about the future*.

### Il progetto della Music Box

Il progetto della Music Box, letteralmente "scatola musicale", ha costituito una sorta di sfida per i progettisti acustici in quanto si tratta del progetto di un ambiente molto rumoroso all'interno di uno spazio adiacente a una sala concerti (figura 1).

*Il progetto del Music Box, letteralmente "scatola musicale", ha costituito una sorta di sfida per i progettisti acustici in quanto si tratta del progetto di un ambiente molto rumoroso all'interno di uno spazio adiacente a una sala concerti*

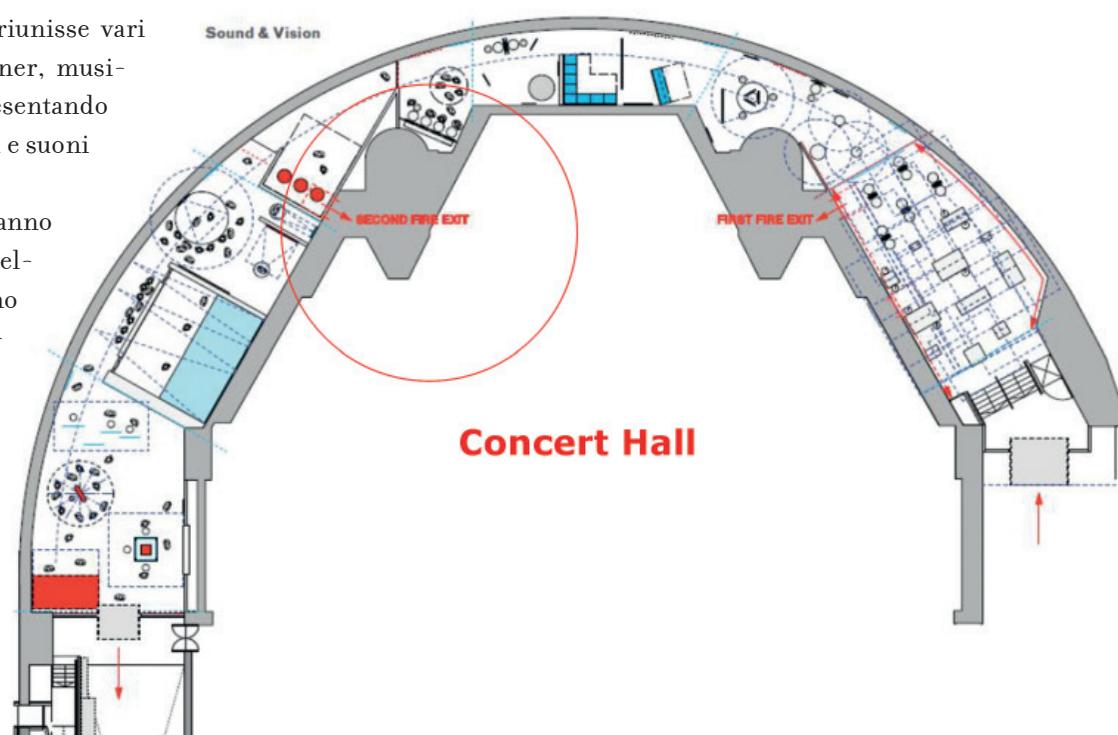


Figura 1 – Individuazione della Music Box all'interno della galleria del Barbican Centre.



La Music Box, sede dell'installazione denominata "Sound and vision", è stata concepita come spazio espositivo immersivo in cui la musica viene riprodotta attraverso il movimento meccanico di alcuni elementi posizionati su plinti e riprodotto attraverso un sistema elettroacustico progettato ad hoc.

tire un livello interno non inferiore a 95 dB(A). Le soluzioni tecniche (pareti, pavimento, porte, controsoffitti, ecc.) sono state progettate al fine di garantire il rispetto dei valori della curva NR40 all'interno della galleria del Barbican. Il rispetto di tale curva è stato ritenuto sufficientemente cautelativo per garantire il rispetto della curva

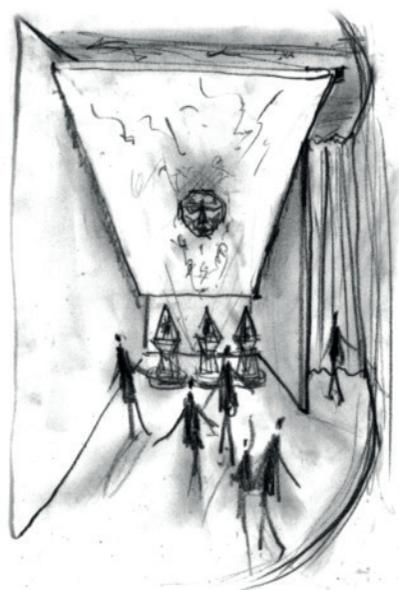


Figura 2 - Concept dello spazio e delle sorgenti acustiche.



Figura 3 - Interni della Music Box.



### Gli obiettivi del progetto: qualità acustica all'interno e all'esterno della Music Box

L'obiettivo del progetto acustico è stato quello di realizzare un elevato isolamento acustico dai rumori aerei e dalle vibrazioni tale da consen-

NR25 all'interno dell'adiacente Concert Hall, separata dalla galleria attraverso elementi massivi caratterizzati da spessori elevati. Le curve NR approssimano lo spettro di un rumore ritenuto accettabile in seguito a sperimentazioni eseguite in numerosi ambienti, in funzione di una specifica destinazione d'uso.

Figura 4 – Soluzioni acustiche in pianta.

Nel contempo, è stato fatto uno studio della qualità acustica interna con la valutazione dei seguenti parametri: tempo di riverberazione (TR), bass ratio (BR) e chiarezza ( $C_{80}$ ); tali parametri, infine, sono stati confrontati con i relativi valori ottimali per tipologia e volumetria dello spazio in esame. Per definire il valore ottimale in frequenza della Music Box ci si è riferiti alle indicazioni della Audio Engineering Society per ambienti tipo sale prova, caratterizzate da una volumetria paragonabile a quella in esame.

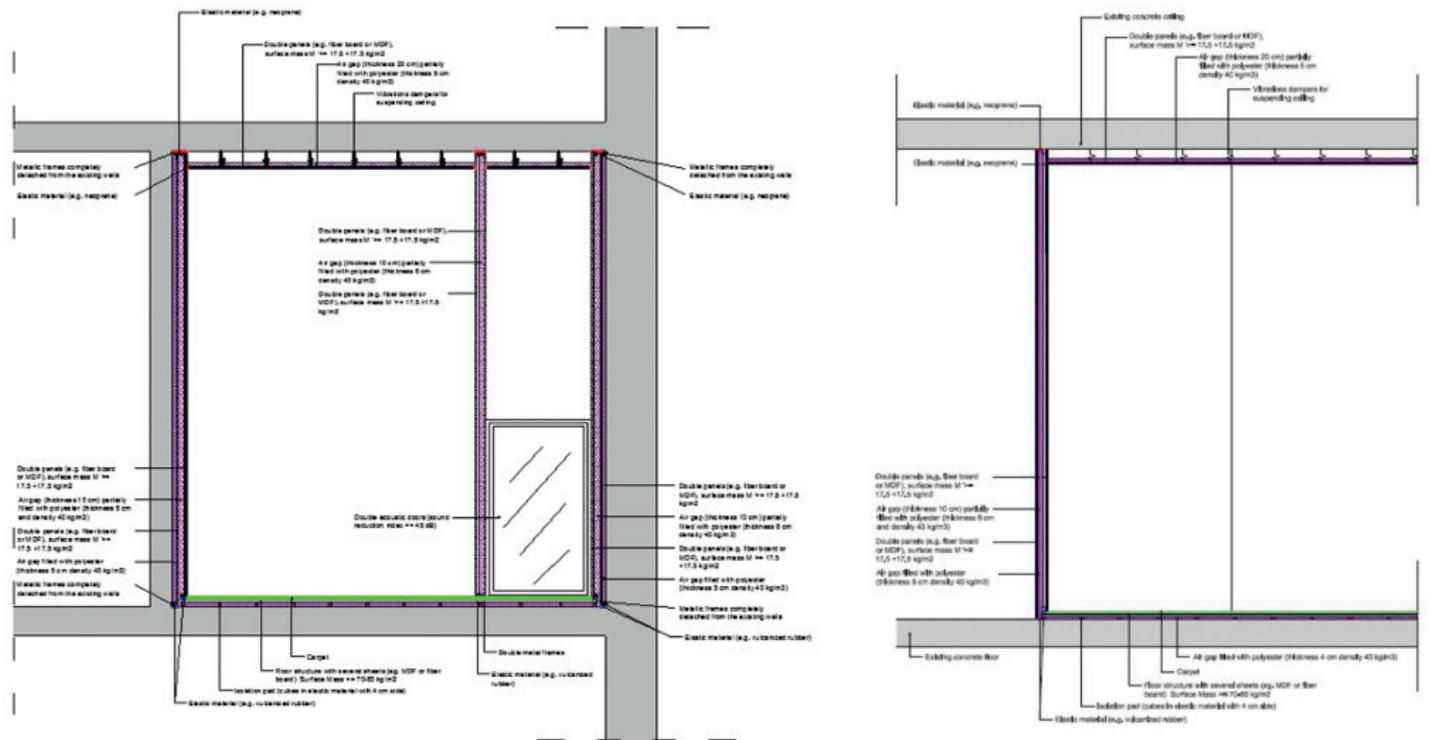
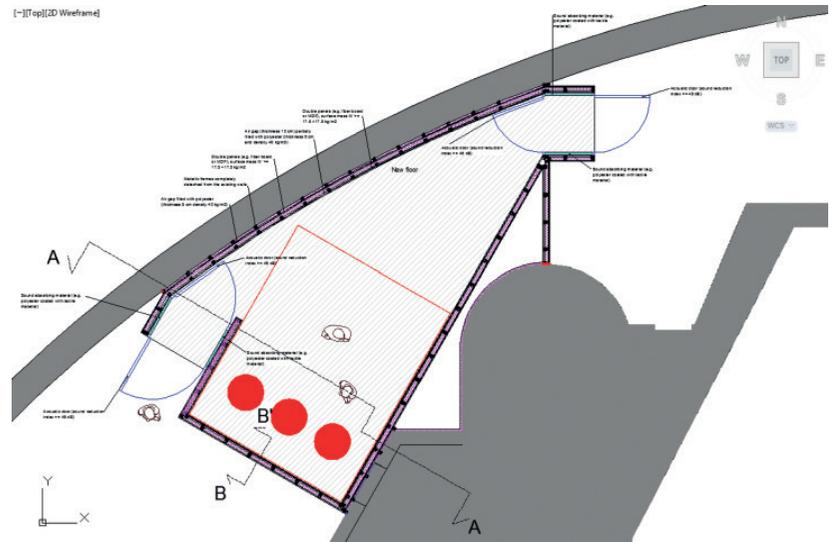


Figura 5 – Soluzioni acustiche in sezione.

La fase preliminare dello studio ha previsto l'analisi degli spettri in frequenza delle sorgenti (batteria, vibrafono e chitarra) al fine di evidenziare le possibili criticità acustiche. La batteria, ad esempio, tra gli strumenti presenti, è risultata caratterizzata dal più ampio spettro (60-10.000 Hz).

La strategia di progetto impiegata, fermo restando il vincolo di realizzare strutture a secco rimovibili al termine della mostra, ha previsto la realizzazione di una "scatola nella scatola" con completo disaccoppiamento dell'una rispetto all'altra. Tutte le soluzioni di progetto sono state

valutate sulla base delle proprie caratteristiche di isolamento acustico certificate in laboratorio in frequenza, al fine di garantire un adeguato isolamento acustico anche delle basse frequenze, generalmente le più difficili da isolare con strutture leggere (figura 4). Per le pareti, previste fino al solaio esistente, sono state proposte strutture a secco costituite da doppia orditura metallica e doppia lastra di gesso fibra su entrambi i lati; le pareti sono state distanziate dalle pareti esistenti della galleria attraverso un'intercapedine d'aria di 5 cm riempita con materiale fonoassorbente (figura 5).



*Per il pavimento è stata proposta una soluzione flottante con elementi antivibranti tipo "isolation pad", costituiti da elementi elastici di forma cubica disposti con adeguati interassi e caricati con una massa sufficiente a garantire una frequenza di risonanza molto bassa (20 Hz)*

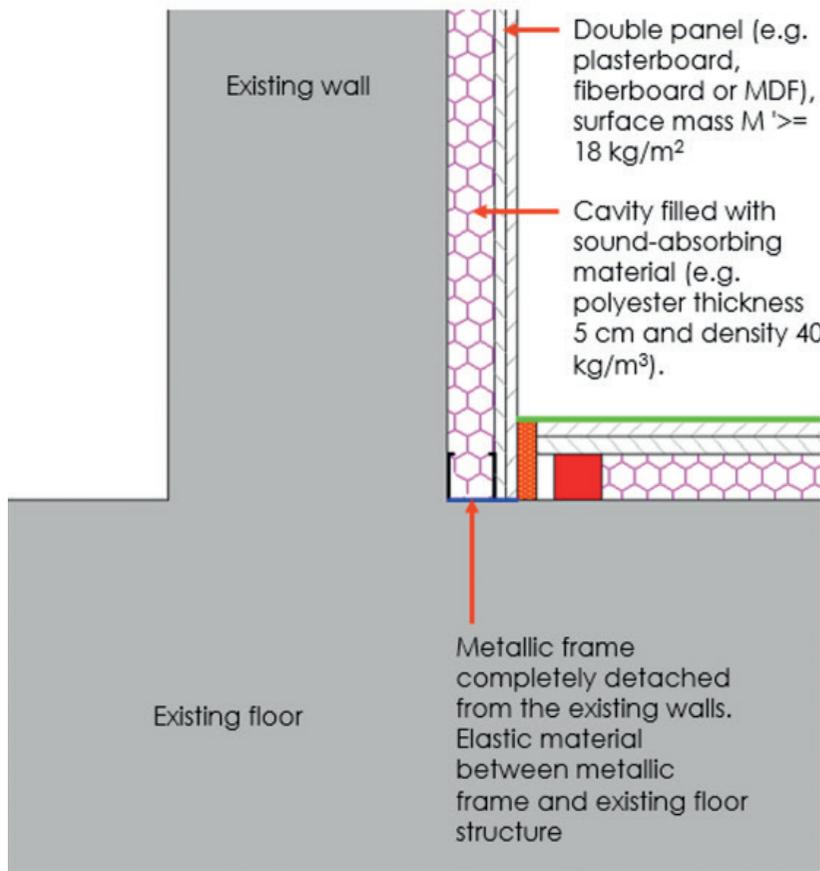


Figura 6 - Particolare del rivestimento del nodo parete esistente.

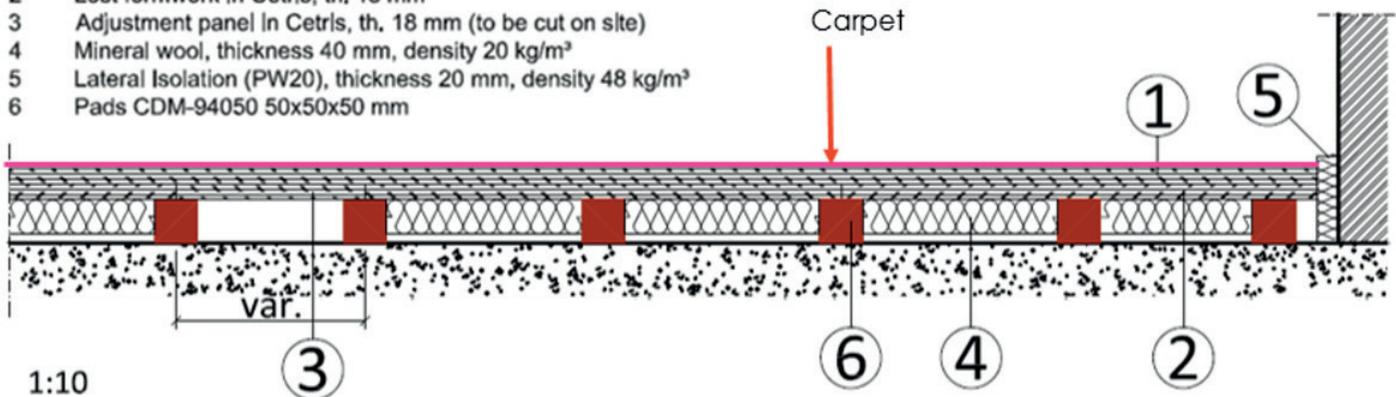
Per il pavimento è stata proposta una soluzione flottante con elementi antivibranti tipo "isolation pad" (figure 6 e 7), costituiti da elementi elastici di forma cubica disposti con adeguati interassi e caricati con una massa sufficiente a garantire una frequenza di risonanza molto bassa (20 Hz). La massa è costituita da alcuni pannelli di MDF di spessore differenziato. Tale soluzione di pavimento permette, a partire da una deflessione assai contenuta, di avere un elevato isolamento delle vibrazioni. Il controsoffitto di progetto è costituito da una doppia lastra di gesso fibra (massa complessiva 30 kg/m<sup>2</sup>) montato con intercapedine di 15 cm di spessore parzialmente riempita con materiale fonoassorbente di 5 cm di spessore e fissato al solaio tramite dei sistemi di sospensione antivibranti (frequenza di risonanza del sistema pari a 30 Hz).

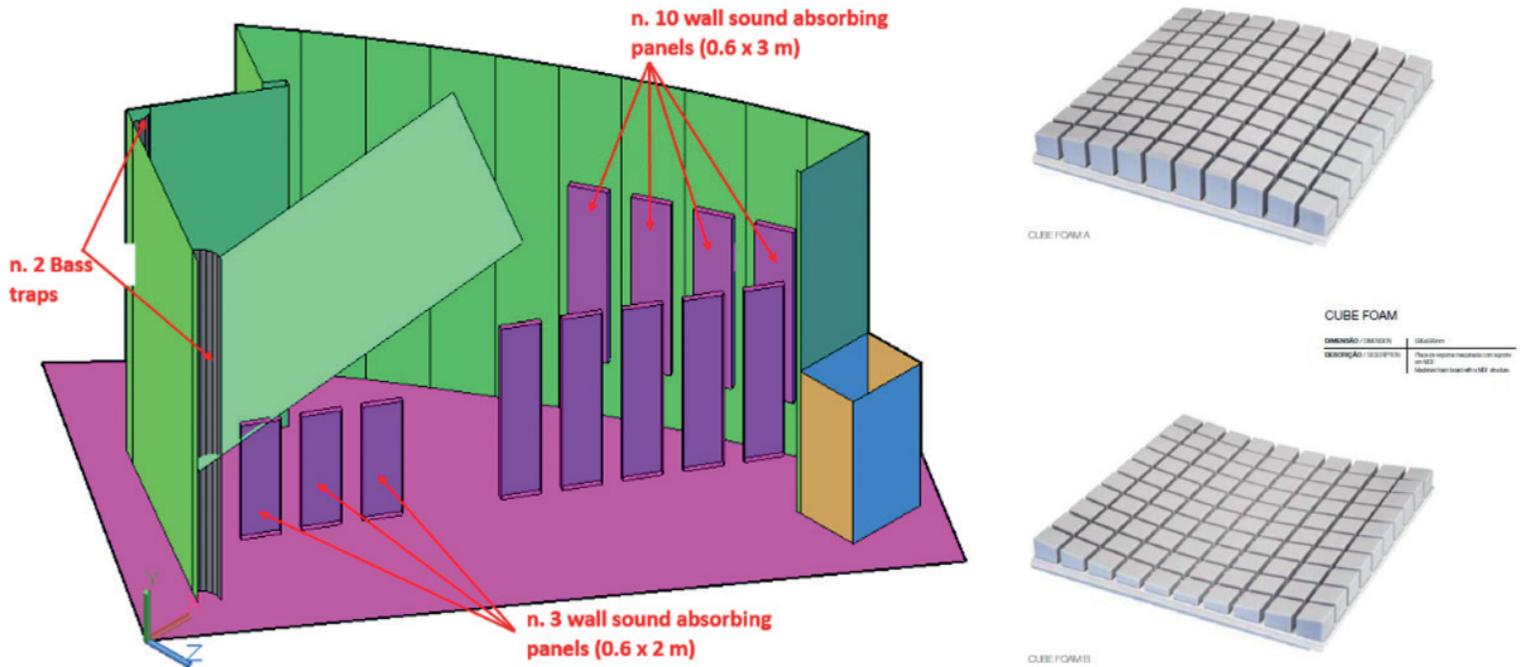
Infine, l'ingresso e l'uscita dalla Music Box, diversamente dall'iniziale idea dei progettisti che prevedeva delle tende, sono stati dotati di porte ad elevato isolamento acustico ( $R_w = 47$  dB) in aggiunta alle tende, al fine di ottenere adeguate prestazioni di isolamento acustico anche alle basse frequenze.

Figura 7 - Particolare del pavimento galleggiante.

CDM-FLOAT

- 1 1x Cetrís 18 mm (by CDM)
- 2 Lost formwork in Cetrís, th. 18 mm
- 3 Adjustment panel in Cetrís, th. 18 mm (to be cut on site)
- 4 Mineral wool, thickness 40 mm, density 20 kg/m<sup>3</sup>
- 5 Lateral Isolation (PW20), thickness 20 mm, density 48 kg/m<sup>3</sup>
- 6 Pads CDM-94050 50x50x50 mm





Per ottimizzare il comfort acustico interno, premesso che la geometria dell'ambiente risulta già abbastanza corretta per la mancanza di grandi superfici riflettenti parallele, sono state fatte simulazioni acustiche con il software Ramsete e proposti i seguenti interventi di correzione acustica:

- 2 bass traps sugli angoli dell'ambiente più prossimi alle sorgenti sonore;
- pannelli fonoassorbenti fissati con intercapedine alle pareti.

A partire dagli elementi di progetto sopra descritti sono state ottenute prestazioni acustiche confrontabili con quelle ottimali, come mostrano i grafici della figura 9.

In alto:

Figura 8 - Posizionamento degli elementi di correzione acustica nella Music Box.

Figura 9 - Grafici contenenti i risultati delle simulazioni acustiche del tempo di riverberazione e della chiarezza  $C_{80}$ .

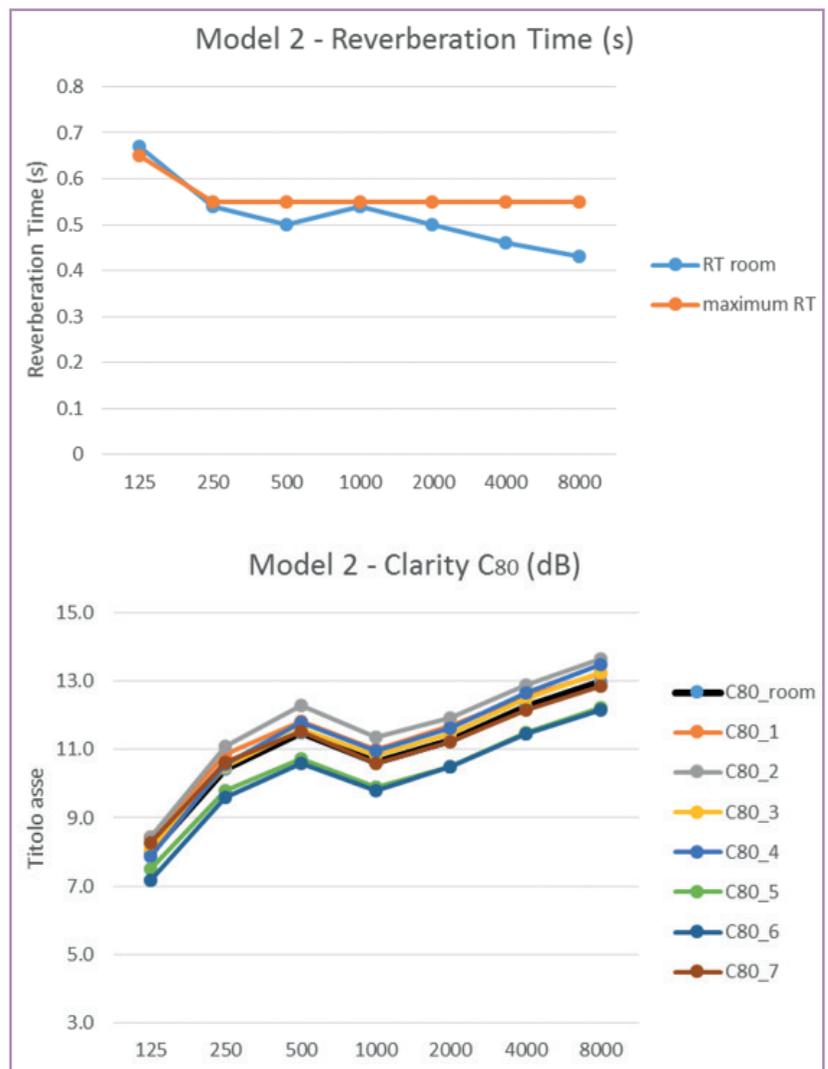




TABELLA 1 - RISULTATI DEI CALCOLI ACUSTICI PREVISIONALI

| Element   | Frequency (Hz) |       |      |      |      |      |      | Airborne sound insulation index<br>R <sub>w</sub> (dB)       | Element surface<br>(m <sup>2</sup> ) | Global wall surface (m <sup>2</sup> ) |
|---|----------------|-------|------|------|------|------|------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
|   | 63             | 125   | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |  |                                      |                                       |
| Airborne sound insulation R curtain (R <sub>w</sub> =13 dB)         | 6.8            | 6.8   | 5.5  | 7.5  | 12.8 | 20.9 | 26.3 | 13   | 3.75                                 | 50.3                                  |
| Airborne sound insulation R acoustic door (R <sub>w</sub> =41 dB)   | 12             | 21.5  | 32.0 | 38.7 | 43.2 | 46.4 | 52.2 | 41   | 3.75                                 |                                       |
| Airborne sound insulation R acoustic door+curtain                   | 18.8           | 28.3  | 37.5 | 46.2 | 56.0 | 67.3 | 78.5 | 54   | 3.75                                 |                                       |
| Airborne sound insulation R walls (wall mass=36 kg/m <sup>2</sup> ) | 32             | 42    | 54   | 65.4 | 70.4 | 60.5 | 59.2 | 62   | 46.55                                |                                       |
| Airborne sound insulation R wall+door+curtain (dB)                  | 28.1           | 37.7  | 47.7 | 56.9 | 65.7 | 60.8 | 59.5 | 61   |                                      |                                       |
| In situ airborne sound insulation R' wall+door+curtain (dB)         | 22.1           | 31.7  | 41.7 | 50.9 | 59.7 | 54.8 | 53.5 | 55   |                                      |                                       |
| NR40 curve (dB)   | 67             | 57    | 49   | 44   | 40   | 37   | 35   |  |                                      |                                       |
| 10*log(S/A)   | 2              | 2     | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |  |                                      |                                       |
| Maximum sound pressure level inside the Music Box (dB)              | 87.1           | 86.7  | 88.7 | 92.9 | 97.7 | 89.8 | 86.5 | Maximum equivalent sound pressure level inside the Music Box |                                      |                                       |
| A-weighting coefficients  | -26.2          | -16.1 | -8.6 | -3.2 | 0.0  | 1.2  | 1.0  | LA eq dB(A)  |                                      |                                       |
| Maximum sound pressure level inside the Music Box dB(A)             | 60.9           | 70.6  | 80.1 | 89.7 | 97.7 | 91.0 | 87.5 | 99.4   |                                      |                                       |
| ACOUSTIC CALCULATION RESULTS  | Frequency (Hz) |       |      |      |      |      |      | Leq  |                                      |                                       |
|   | 63             | 125   | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | dB/dB(A)   |                                      |                                       |
| Sound pressure level inside the Music Box (dB(A))                   | 62.0           | 71.4  | 83.6 | 90.5 | 91.0 | 88.2 | 86.7 | 95.7   |                                      |                                       |
| Sound pressure level inside the Music Box (dB)                      | 88.2           | 87.5  | 92.2 | 93.7 | 91.0 | 87.0 | 85.7 | 98.7   |                                      |                                       |
| Sound pressure level inside the Gallery                             |                |       |      |      |      |      |      |  |                                      |                                       |

### Previsioni e risultati in opera

A partire dalle condizioni sopra esposte, sono stati effettuati i calcoli previsionali per determinare i livelli sonori massimi ammissibili all'interno della Music Box al fine di garantire nella galleria il rispetto della curva NR<sub>40</sub>. I risultati sono contenuti nella tabella che segue.

I calcoli delle prestazioni acustiche sono stati effettuati dagli algoritmi contenuti nello standard UNI EN ISO 12354-1.

Con le soluzioni tecniche sopra descritte i livelli di pressione sonora calcolati sono i seguenti: SPL nel Music Box: 95 dB (A), SPL nella Galleria: 60 dB (A), secondo la curva NR<sub>40</sub>.

Le soluzioni progettate consentono 95 dB (A) di livello di pressione sonora all'interno della "scatola musicale" e, allo stesso tempo, un ottimo comfort acustico nelle zone intorno alla scatola. In particolare, i livelli di pressione sonora della Galleria sono inferiori alla curva dei valori NR<sub>40</sub>, come mostra il grafico in figura 10.

### Il collaudo acustico

Una campagna di test e misurazioni fonometriche è stata effettuata nel mese di agosto 2014, in condizioni di stanze vuote e durante una giornata di sold-out, quando gli spazi della mostra erano pieni di visitatori.

**Le soluzioni progettate consentono 95 dB (A) di livello di pressione sonora all'interno della "scatola musicale" e, allo stesso tempo, un ottimo comfort acustico nelle zone intorno alla scatola**

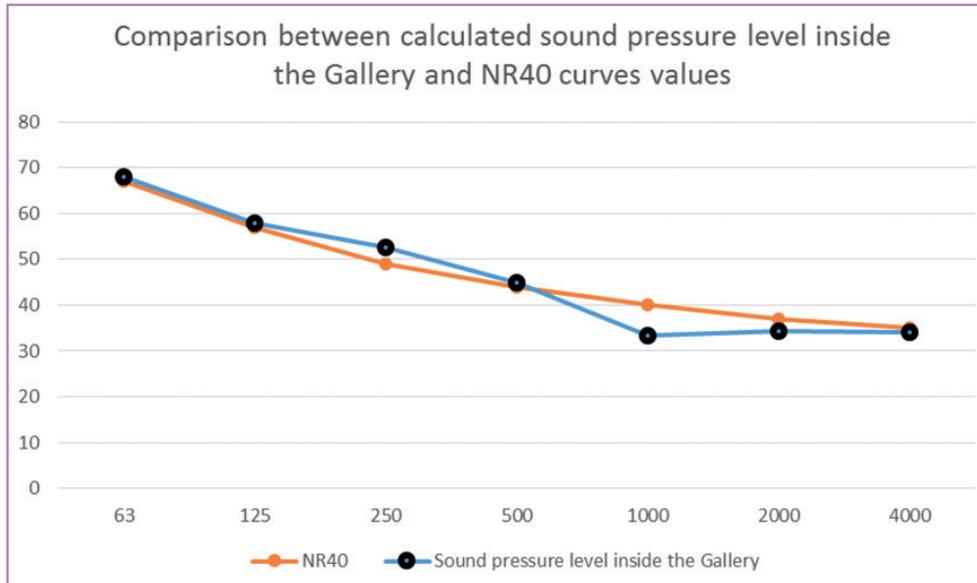
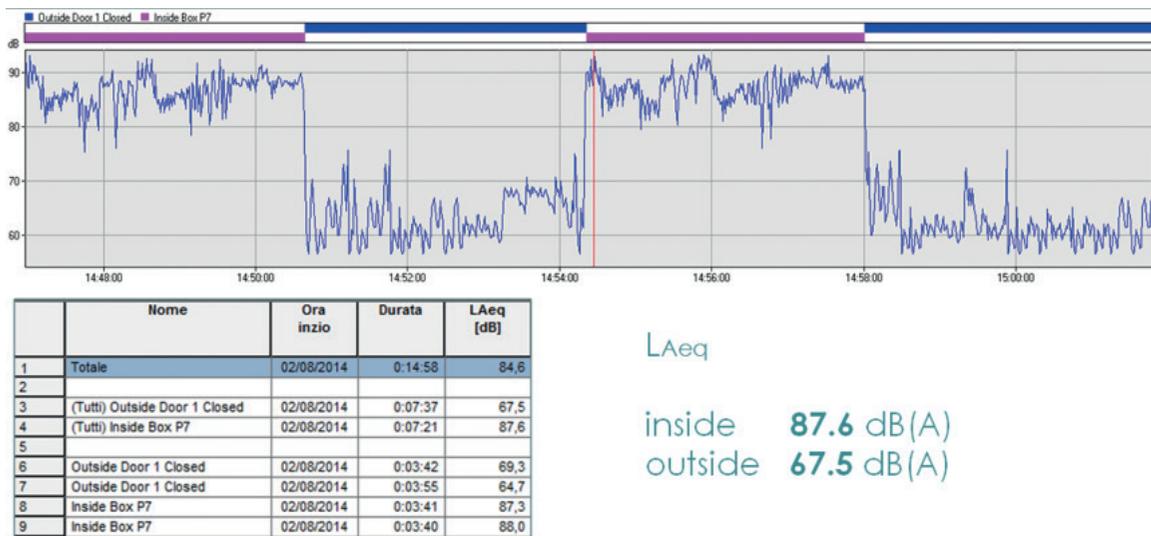


Figura 10 – Confronto tra i livelli di pressione sonora all'interno della Galleria e i corrispondenti valori della curva NR40.

Figura 11 – Confronto fra i livelli equivalenti LAeq dentro e fuori la Music Box.



*Queste misure hanno mostrato una distribuzione molto omogenea del suono in tutte le posizioni che possono essere occupate da visitatori, rispondendo ai valori obiettivo definiti dalla progettazione acustica*

La prima serie di prove è stata effettuata all'interno della Music Box. Le posizioni dei microfoni sono state scelte in modo tale da consentire una mappatura completa degli spazi fruibili dai visitatori. Queste misure hanno mostrato una distribuzione molto omogenea del suono in tutte le posizioni che possono essere occupate da visitatori, rispondendo ai valori obiettivo definiti dalla progettazione acustica e rendendo possibile l'interazione costante tra gli occhi dell'artista e la sua musica, sia seguendo i movimenti del visitatore in una perfetta e coinvolgente realtà di percezione multisensoriale.

Sono state effettuate misure simultanee di livelli equivalenti dentro e fuori la Music Box, a distanza di 1 metro, al di qua e al di là delle porte

fonoisolanti, per verificare l'efficacia delle soluzioni di isolamento progettate e la piena separazione acustica tra la "scatola" e le aree rimanenti, con particolare attenzione al confine con la sala da concerto (figura 11). Queste misure sono state eseguite in condizioni di piena occupazione della Music Box e della mostra in generale, con le attività sonore degli altri spazi della mostra pienamente in funzione. I risultati sono stati più che soddisfacenti, con livelli di attenuazione acustica fra l'interno e l'esterno dell'ordine dei 20 dB(A).

Oltre ai livelli di isolamento della Music Box, in sede di collaudo acustico si sono valutati i livelli di sonorizzazione degli altri spazi che hanno mostrato buona qualità di ascolto e totale assenza di "disturbo" proveniente dalla Music Box (figura 12).

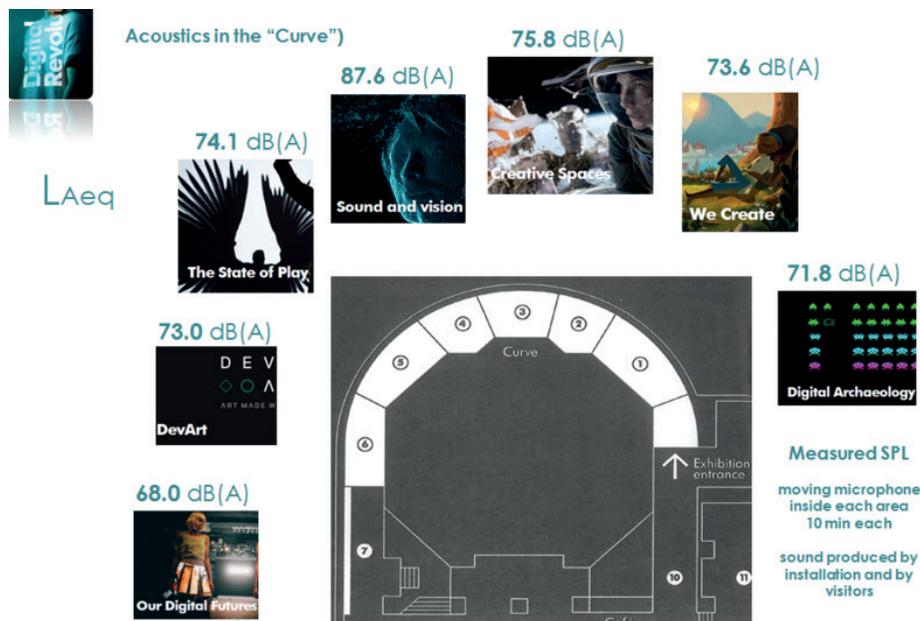


Figura 12 – Livelli equivalenti misurati nei vari spazi della mostra "Digital Revolution".

## Conclusioni

Chi immagina e progetta gli spazi di vita dovrebbe considerare che la fruizione di essi è multisensoriale. Artisti, urbanisti, architetti e designers dovrebbero considerare i paesaggi sonori e tutti i sistemi che possono migliorare e ottimizzare la qualità della performance acustica degli elementi progettati.

Negli interventi di ristrutturazione che interessano i luoghi pubblici, l'attenzione riservata ai diversi aspetti che caratterizzano la qualità della fruizione degli spazi dovrebbe essere elevata e il contributo dei progettisti acustici dovrebbe essere riconosciuto come importante per la valorizzazione dell'opera in tutte le fasi, dalla definizione degli spazi stessi, fino alla loro caratterizzazione mediante scelta degli arredi e inserimento degli elementi con proprietà acustiche ed elettroacustiche.

**Chi immagina e progetta gli spazi di vita dovrebbe considerare che la fruizione di essi è multisensoriale. Artisti, urbanisti, architetti e designers dovrebbero considerare i paesaggi sonori e tutti i sistemi che possono migliorare e ottimizzare la qualità della performance acustica degli elementi progettati**

In questa memoria si è parlato di un caso applicativo di una metodologia di progettazione attenta alle problematiche acustiche, il cui riscontro positivo è testimoniato dai risultati numerici delle misure post-operam, dalla vasta eco che il progetto ha avuto sui media britannici, così come dalle opinioni dei frequentatori, raccolte mediante questionari di customer satisfaction.

Il paradigma di complessità offerto da uno spazio espositivo destinato all'ascolto della musica composta da un importante artista americano, suonata attraverso il movimento meccanico di alcuni elementi posizionati su dei plinti e riprodotti attraverso un impianto elettro-acustico progettato ad hoc, inserita in una mostra su suoni e immagini digitali e adiacente a un auditorium, sede di una prestigiosa orchestra sinfonica, ben rappresenta l'importanza del suono nelle sue diverse forme e manifestazioni, la necessità di rendere tali forme compatibili alla modernità degli spazi e la necessità di progettare ambienti adatti per poterle ascoltare.

Dal 12 al 16 luglio 2015 si svolgerà a Firenze "The 22nd International Congress on Sound and Vibration".

Per riferimenti:  
<http://www.icsv22.org/>

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Schafer R. M., *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, Destiny Books, Rochester, 1977.
- [2] Bull M., Black L., *Paesaggi Sonori. Musica, voci, rumori: l'universo dell'ascolto*, Il Saggiatore, Milano 2008.
- [3] Luzzi S., Busa L., *Acoustic design of exhibitions with relevant audio content*, in "Proceedings of 22<sup>nd</sup> International Congress on Sound and Vibration", Florence, 2015.
- [4] Luzzi S., Busa L., Recenti S., Rogers A., *La progettazione acustica degli spazi pubblici*, in "Rivista italiana di acustica", Volume 37, N. 3-4, Luglio-Dicembre 2013, pp. 35-42.
- [5] Secchi S., Busa L., Cellai C., Luzzi S., *La protezione acustica dai rumori generati dai locali di pubblico spettacolo: requisiti acustici degli edifici e caratterizzazione degli ambienti interni*, in "Atti del 38° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica", Rimini, 2011.
- [6] Busa L., Luzzi S., *Comfort acustico in pizzeria*, in "Atti del 38° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica", Rimini, 2011.
- [7] UNI EN ISO 3382-2 (novembre 2008), *Acustica— Misurazione dei parametri acustici degli ambienti—parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinati*.

# Mitigare il rumore delle stazioni elettriche

**Un abaco di soluzioni tipo per la riduzione del rumore emesso dalle macchine elettriche delle sottostazioni di trasformazione in alta tensione per la progettazione ottimizzata di barriere acustiche**

**Francesco Borchì<sup>(1)</sup>, Sergio Luzzi<sup>(1)</sup>,  
Matteo Goretti<sup>(1)</sup>, Alfio Ali<sup>(2)</sup>, Marilena Amoretti<sup>(2)</sup>,  
Gilberto Ricci<sup>(2)</sup>, Alberto Giorgi<sup>(3)</sup>**

## Introduzione

All'interno delle stazioni elettriche vi sono sorgenti di rumore che hanno caratteristiche specifiche e di non facile mitigazione. Le macchine elettriche che producono emissioni acustiche molto caratterizzate in frequenza di fatto sono sostituite da reattori, trasformatori di potenza. La loro forma e dimensione, unita ai vincoli funzionali, rendono spesso complessa la progettazione di barriere e altre soluzioni schermanti, aventi le giuste caratteristiche geometriche e acustiche. Un recente studio, frutto della collaborazione fra TERNA Rete Italia S.p.A. (Unità Ingegneria Impiantistica) e VIE En.Ro.Se. Ingegneria S.r.l. ha prodotto un fascicolo di Linee Guida per la definizione delle suddette barriere "tipo" o moduli di barriera "tipo", considerando gli aspetti acustici nel processo di unificazione che riguarda anche l'adeguamento antincendio. In particolare, l'obiettivo è stato fornire soluzioni "tipo" alle quali siano associabili determinati livelli di riduzione

del rumore. I dati di input sono stati le dimensioni della sorgente oggetto di mitigazione e le relative caratteristiche di emissione sonora.

Si è fatto riferimento a numerose esperienze di valutazione dell'impatto acustico di stazioni elettriche e di mitigazione acustica già esistenti e sulla base dei dati raccolti è stato analizzato il Progetto Unificato di Terna con lo scopo di valutarlo ed eventualmente integrarlo per renderlo funzionale anche per l'abbattimento acustico del rumore prodotto da trasformatori e reattori.

Infine, sulla base del Progetto Unificato e delle informazioni raccolte sulle emissioni acustiche dei macchinari, è stato predisposto un apposito modello acustico all'interno del quale sono state valutate le diverse possibili soluzioni.

Attraverso la simulazione delle diverse soluzioni "tipo" abbinata alle diverse tipologie di sorgente è stato predisposto un abaco delle soluzioni acustiche da utilizzare a seconda della tipologia di macchinario e dello scenario esistente.

Fin dal 1975 sono stati fatti progetti di silenziamento di autotrasformatori in alta tensione

**(1)** VIE EN.RO.SE. Ingegneria S.r.l., Firenze

**(2)** Terna Rete Italia S.p.A.

**(3)** Docente del corso "Sistemi elettrici per l'energia", Università degli Studi di Firenze



mediante pareti schermanti (stazione Enel AT in Toscana, a Poggio a Caiano).

Negli anni 90 sono state realizzate strutture schermanti in stazioni Enel AT in Lombardia (barriere con pannelli fonoassorbenti a Brugherio e a Bovisio, incapsulamento completo a Bulciago, barriere fisse a Gorlago e Pian Camuno) e

in Toscana (barriere a cavità risonanti a Poggio a Caiano).

Negli anni 2000 si è proseguito con la realizzazione di altre strutture schermanti in stazioni AT Terna (ad es. in Emilia Romagna a Colunga e in Toscana a Casellina).

### Rumore dei trasformatori e sua modellazione

La caratterizzazione acustica dei trasformatori come singole sorgenti scatolari non può prescindere dall'analisi strutturale e funzionale di questi macchinari, destinati a convertire l'energia dalla rete di trasmissione a 380 kV alla rete di distribuzione primaria a 132 kV che alimenta le cabine primarie.

I trasformatori sono caratterizzati da un'emissione derivante da due componenti rumorose:

- la magnetostrizione del nucleo magnetico del trasformatore;
- la presenza di un numero variabile di gruppi ventilatori.



Figura 1 – Esempi di trasformatori tipici di una stazione elettrica.



La magnetostrizione con macchine collegate alla rete produce un rumore continuo e costante. L'emissione rumorosa è differente a seconda della tipologia di trasformatore, ma è quasi sempre ben caratterizzata, in frequenza, da componenti principali nelle bande di terzi di ottava con centro banda 100, 200, 315 Hz.

I ventilatori, presenti su tutti i trasformatori, hanno funzione di raffreddamento. I gruppi ventilatori funzionano in automatico in base alla temperatura del liquido refrigerante del trasformatore, ciò determinando varie possibili configurazioni di funzionamento, corrispondenti ai livelli di carico dei ventilatori stessi che possono variare da zero (ventilatore spento) alla massima potenza.

Ogni trasformatore può essere modellato attraverso un sistema di sorgenti puntiformi disposte su un parallelepipedo avente le dimensioni perimetrali caratteristiche del trasformatore stesso. Questa scelta consente di descrivere al meglio anche la propagazione del rumore intorno ai trasformatori, considerando i contributi secondari derivanti dalla presenza di possibili superfici riflettenti o assorbenti. Il modello viene quin-

*Ogni trasformatore può essere modellato attraverso un sistema di sorgenti puntiformi disposte su un parallelepipedo avente le dimensioni perimetrali caratteristiche del trasformatore stesso*

di calibrato attraverso misurazioni effettuate in prossimità del trasformatore e successivamente validato in riferimento ai livelli di rumore misurati sul perimetro della stazione.

In pratica, il livello di potenza sonora emessa dai trasformatori, con e senza i ventilatori, viene determinato tramite una procedura che prevede rilevazioni fonometriche in postazioni perimetrali intorno ai trasformatori (in figura viene riportato un esempio delle postazioni di misura intorno al trasformatore).

I singoli trasformatori vengono quindi modellati come box scatolari sulle facce dei quali sono disposte le sorgenti che simulano l'emissione delle due componenti di rumore (nucleo e ventilatori). Nella figura seguente è raffigurato con il tratto rosso un esempio di box rappresentativo per due tipologie di trasformatore.

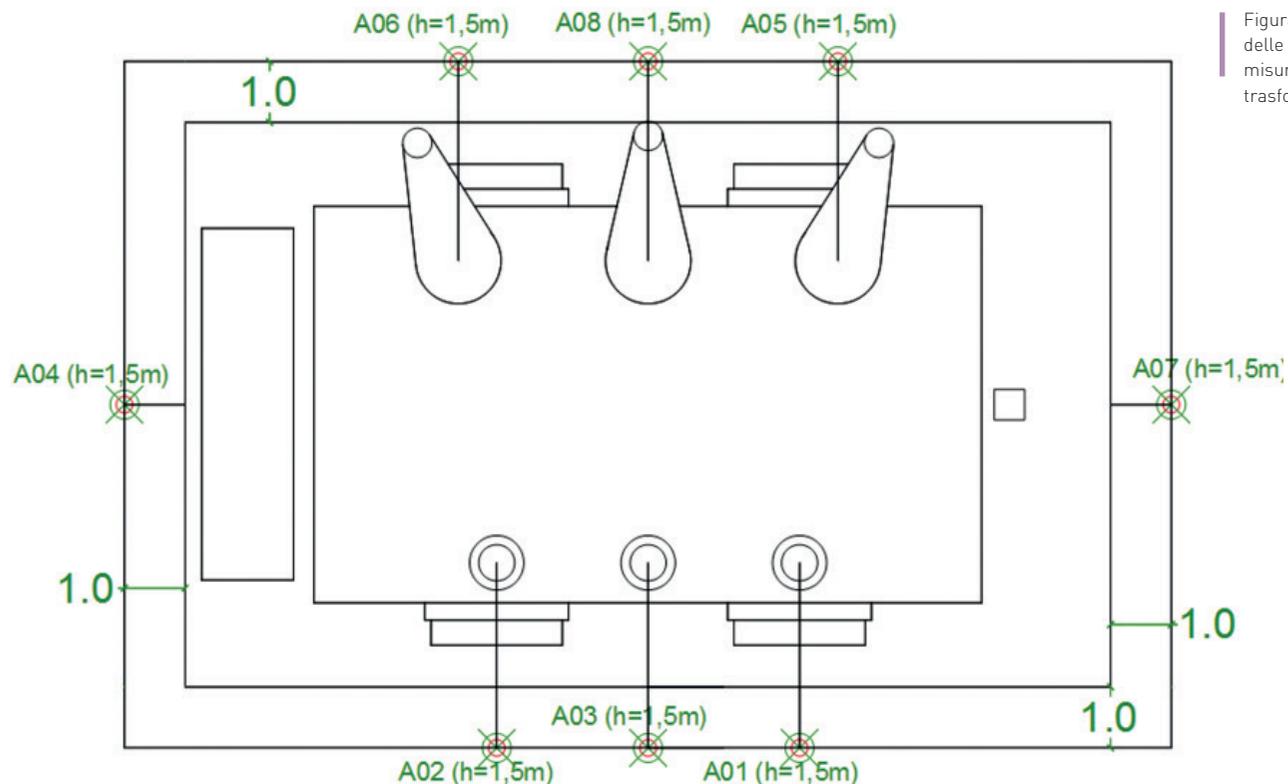
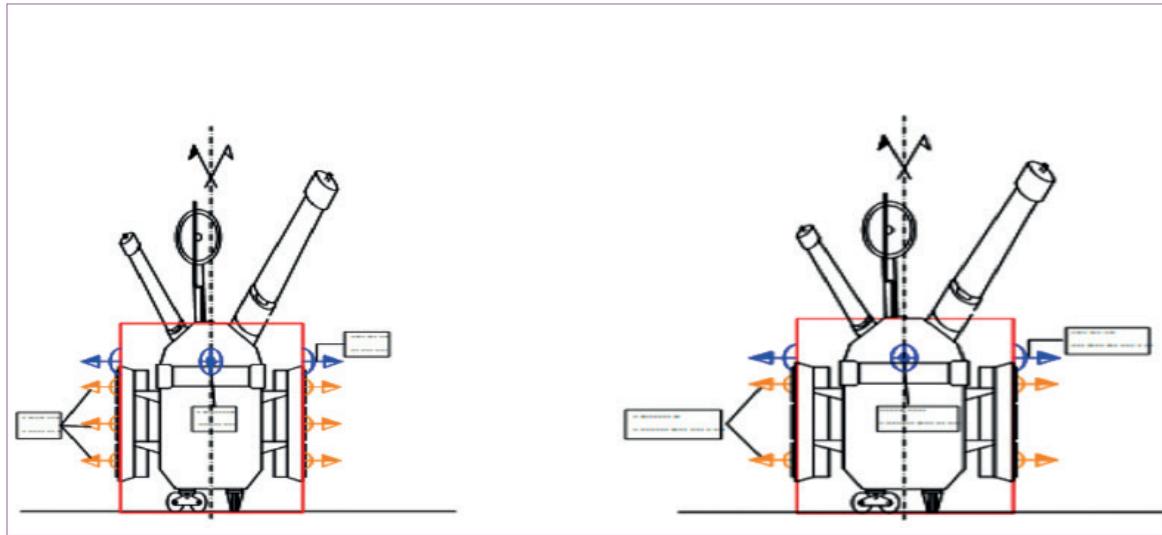


Figura 2 - Schema delle postazioni di misura intorno al trasformatore.



Figura 3 – Esempio di schema di modellazione di due trasformatori.



Nel caso dell'esempio, le sorgenti rappresentative della rumorosità del nucleo interno sono state scelte puntiformi e posizionate a un'altezza pari ai tre quarti di quella della cassa. Tale altezza risulta cautelativa ai fini del dimensionamento della barriera. Il numero di tali sorgenti è stato scelto in base alle dimensioni planimetriche della cassa; in particolare, sul lato lungo sono state distribuite sorgenti puntiformi (a distanza di ca. 3,5 m l'una dall'altra), mentre sul lato corto una sola sorgente centrale. Le sorgenti rappresentative dei ventilatori sono state posizionate in corrispondenza del centro dei ventilatori.

A partire dai valori di potenza sonora delle sorgenti, calcolati in base ai risultati delle suddette misure, è stato possibile progettare dei sistemi di barriere antirumore che tenessero conto dei seguenti vincoli:

- vicinanza dei cavi e distanze minime da essi;
- lati del trasformatore interessati dall'intervento: in generale si deve considerare di intervenire tutto intorno al trasformatore a causa della disposizione dei ricettori spesso presenti su tutti i lati dell'impianto;

- necessità di accesso al trasformatore per manutenzione ordinaria: per tale motivo vengono in genere inserite due aperture di adeguata ampiezza;
- rimovibilità delle barriere per movimentazione del trasformatore: vengono proposte soluzioni fisse oppure smontabili, queste ultime al fine di garantire la necessaria rimozione delle barriere per operazioni straordinarie che richiedano la movimentazione dei trasformatori.

In figura 4 è rappresentato uno schema della barriera derivante dalla progettazione nel caso di esempio.

### Rumore dei reattori e sua modellazione

La sorgente "reattore" è caratterizzata da un'emissione derivante dalla magnetostrizione che produce un rumore continuo e costante. L'emissione rumorosa è caratterizzata, in frequenza, da componenti principali nelle bande di terzo di ottava con centro banda 100 Hz, ed in maniera minore nelle bande di terzo di ottava con centro banda 200. Per la caratterizzazione acustica della sorgente reattore vengono in generale eseguite misure di breve durata a breve, media e lunga distanza dalla sorgente specifica, almeno sui lati accessibili o significativi.

Dal momento che il contributo principale alla rumorosità della sorgente "reattore" è dovuto alla presenza della componente tonale alla frequenza

*Per la caratterizzazione acustica della sorgente reattore vengono in generale eseguite misure di breve durata a breve, media e lunga distanza dalla sorgente specifica, almeno sui lati accessibili o significativi*

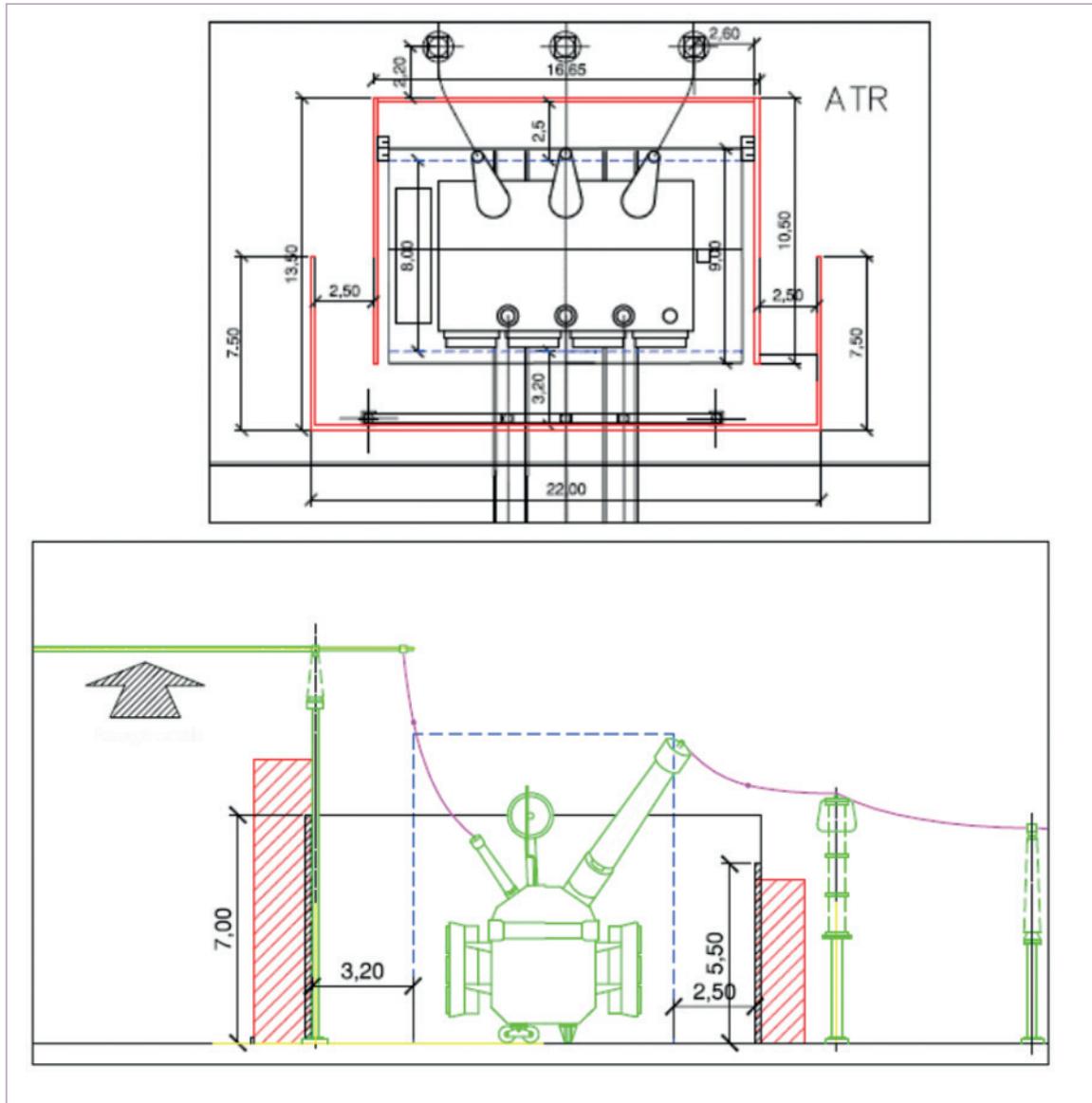


Figura 4 – Pianta e sezione dello schema di intervento con barriera per un trasformatore.

di 100 Hz, l'attenzione viene in generale spostata sull'analisi di questa frequenza specifica.

Il modello sorgente è quello di una sorgente areale distribuita sulla superficie di involuppo della macchina. La potenza sonora da assegnare alla sorgente alla frequenza di 100 Hz viene ricavata sulla base dei livelli rilevati in prossimità della macchina. Il modello viene quindi validato sulla base delle misure eseguite a distanza dal macchinario con attenzione particolare alle posizioni in facciata ai ricettori.

In tutti i casi studio analizzati è stata ritenuta applicabile ed efficace la soluzione costituita dall'inserimento di una barriera acustica nelle immediate vicinanze dei reattori, posta tra questi e il ricettore, e il rivestimento con pannelli fono-

assorbenti dei setti parafiamma attualmente presenti tra i reattori.

Per la definizione della barriera viene quindi svolta un'approfondita analisi dimensionale, oltre a un processo di ottimizzazione volto a individuare la soluzione geometrica ottimale, nell'ottica di salvaguardare l'impatto visivo nel rispetto del vincolo di tutela paesaggistico presente sull'area di intervento e garantire le massime prestazioni dal punto di vista acustico. Nell'esempio riportato in figg. 5 e 6 è stato considerato un oggetto terminale superiore a Y, e un rivestimento completo, ad eccezione della superficie rivolta verso il ricettore, mediante pannelli fonoassorbenti con le caratteristiche di elevato fono-assorbimento alle basse frequenze.



Figura 5 – Pianta e sezione dello schema di intervento con barriera per un reattore.

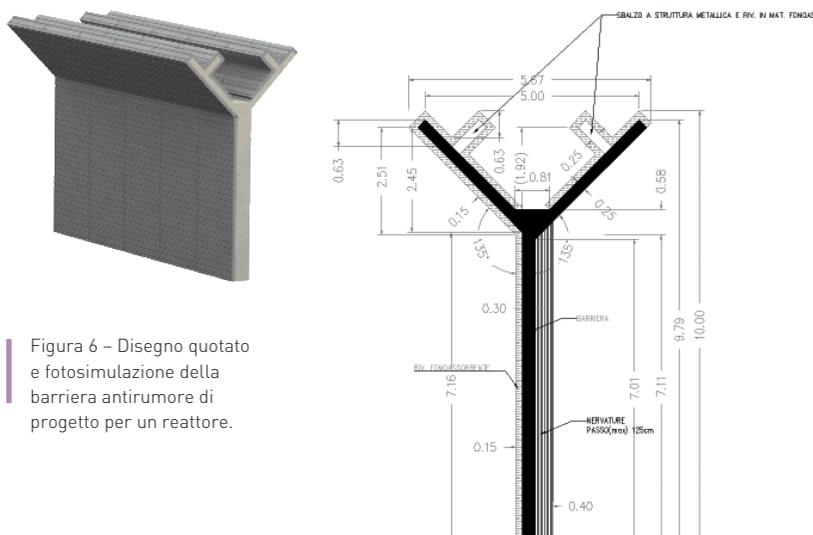
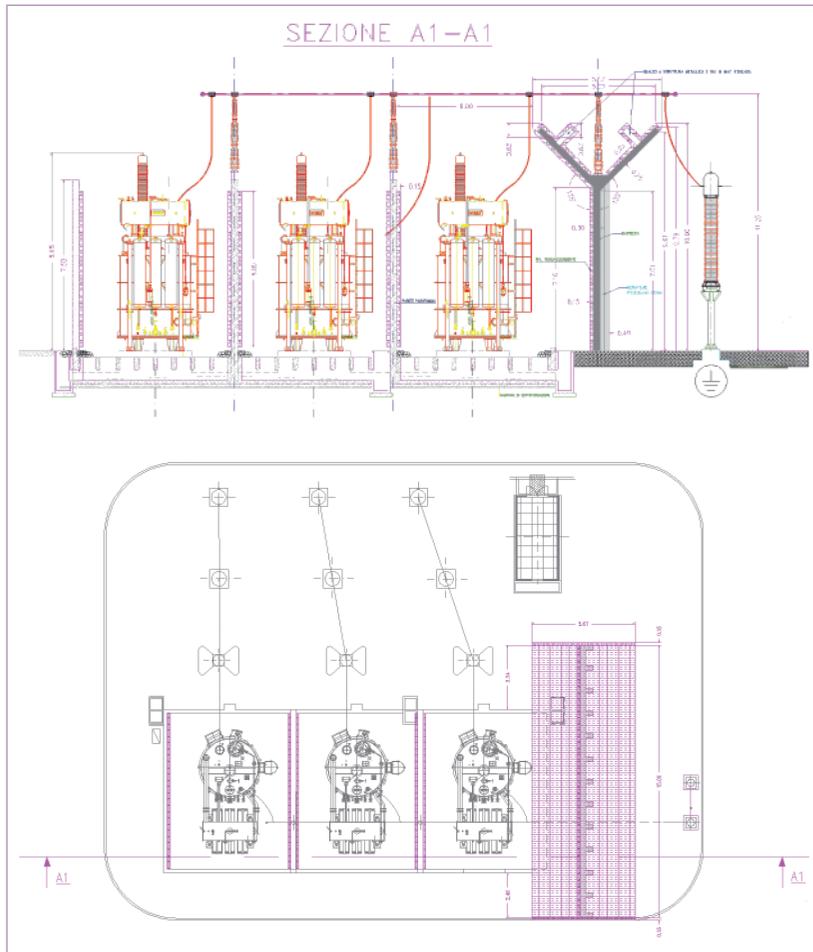


Figura 6 – Disegno quotato e fotosimulazione della barriera antirumore di progetto per un reattore.

## L'ABACO delle soluzioni di mitigazione acustica integrate con il progetto unificato

L'abaco è stato costruito con l'obiettivo di definire un elenco di soluzioni "tipo", finalizzate alla mitigazione acustica delle sorgenti "reattori" e "trasformatori" tramite la definizione di schermature fonoisolanti e soluzioni fonoassorbenti attuabili in accordo al progetto unificato già predisposto per le macchine elettriche in oggetto.

Per la realizzazione dell'abaco si è tenuto conto del Progetto Unificato redatto da TERNA per le proprie stazioni elettriche; in particolare si sono considerati la disposizione e i materiali dei muri parafiamma intorno alle macchine elettriche in esame.

Il progetto unificato prevede la costituzione in prossimità dei reattori e trasformatori di pareti parafiamma in calcestruzzo gettato in opera, lasciato grezzo.

A seconda del tipo di macchina tali muri assumono differenti dimensioni e disposizioni in pianta. Sono stati considerati due tipi di reattori:

- 1) Reattori a 380 kV
  - Altezza dei muri parafiamma pari a 8,65 m;
- 2) Reattori a 220 kV
  - Altezza dei muri parafiamma pari a 6,00 m;

e quattro tipi di trasformatori:

- 1) ATR\_230-155-135kV-250MVA
- 2) ATR\_400-155-135kV-250MVA
- 3) ATR\_400-155-135kV-400MVA
- 4) ATR\_400-230kV-400MVA

La disposizione in pianta dei muri parafiamma è stata ripresa dal progetto unificato, diversa per ciascuna tipologia sopra riportata.

In particolare, le attuali proposte del progetto unificato sono state valutate dal punto di vista acustico, introducendo ove necessario elementi migliorativi, quali rivestimenti fonoassorbenti e aggetti.

Per la simulazione delle soluzioni proposte nell'abaco è stato costruito un modello acustico con le seguenti condizioni al contorno generalmente presenti presso le stazioni elettriche: terreno pianeggiante, acusticamente assorbente.

Per tutte le tipologie di macchinario sono state effettuate simulazioni a 3 frequenze di interesse, secondo quanto risultato dagli studi sopra elencati, ovvero le bande di terzo di ottava con centro-banda:

- 100 Hz;
- 200 Hz;
- 315 Hz.

Inoltre, per ciascuna tipologia di sorgente, sono state considerate condizioni "ANTE OPERA", rappresentative dello stato attuale o dello stato di progetto unificato, privo delle soluzioni finalizzate espressamente alla mitigazione delle emissioni acustiche.

È stato considerato, nelle soluzioni proposte, l'utilizzo di materiale fonoassorbente, in particolare blocchi mono e bi-facciali prefabbricati tipo "LECA (OR25)" che, nella banda di ottava con centro-banda 100Hz, presenta un coefficiente di assorbimento acustico  $\alpha_s$  pari a 0,59 e un potere fonoisolante R pari a 30 dB. Tale materiale possiede inoltre ottime caratteristiche di resistenza al fuoco essendo Classe 0 di reazione al fuoco.

Eccezione è stata fatta per l'oggetto della soluzione di mitigazione dei reattori da 380 kV per il quale, in seguito a considerazioni di fattibilità e peso delle strutture, si è preferito proporre di utilizzare un pannello in cassa di lamiera riempita di lana minerale, opportunamente dimensionato per rispondere alle richieste specifiche di fono-isolamento e fono-assorbimento di cui sopra.

Per ciascuna macchina elettrica, per ciascuna frequenza di interesse e per ciascuno schema dispositivo delle pareti parafiamma (chiusura su 2 lati, 3 lati o 4 lati), sono stati creati modelli di calcolo nella condizione "ANTE" (condizione del progetto unificato) e nella condizione "POST" (situazione con interventi di mitigazione attuati).

Di entrambe le condizioni sono state ricavate le mappe acustiche iso-livello, le quali sono state confrontate per estrarne un'ulteriore mappa di Insertion Loss (IL), indicativa della riduzione, in dB, che si può attendere modificando il progetto unificato con finalità di mitigazione acustica.

### *Modellazione della sorgente "reattore" e "trasformatore"*

Per lo studio delle soluzioni da inserire nell'abaco, le sorgenti sono state modellate come segue.

1. Reattori: sorgente "areale" a forma di parallelepipedo di involuppo della macchina con assegnazione di pari potenza sonora a metro quadro su tutte le facce.

Ai fini della redazione delle schede dell'abaco relative ai reattori, le simulazioni sono state effettuate considerando il funzionamento contemporaneo di tre reattori.

2. Trasformatori.
  - a. Cassa: sorgente "areale" a forma di parallelepipedo di involuppo della macchina con assegnazione di pari potenza a metro quadro su tutte le facce.
  - b. Ventilatori: sorgente "areale" sulle sole due facce occupate dai ventilatori con assegnazione di medesima potenza sonora a metro quadrato su entrambe le facce.

Ai fini della redazione delle schede, le simulazioni sono state effettuate considerando il funzionamento di un solo trasformatore.

Per le finalità dell'abaco, ovvero quella di valutare a seconda delle frequenze, delle soluzioni e delle sorgenti l'efficacia della soluzione di mitigazione proposta, non è risultato necessario assegnare livelli di potenza calibrati e validati sulla reale emissione delle macchine, dal momento che l'efficacia della soluzione è stata resa valutabile dal confronto assoluto tra le mappe acustiche "ANTE" e "POST", ovvero sulle mappe di Insertion Loss, indipendenti dai livelli di potenza sonora assegnati alle macchine.

*Per ciascuna macchina elettrica, per ciascuna frequenza di interesse e per ciascuno schema dispositivo delle pareti parafiamma, sono stati creati modelli di calcolo nella condizione "ANTE" (condizione del progetto unificato) e nella condizione "POST" (situazione con interventi di mitigazione attuati)*



*Per la sorgente "trasformatore", le frequenze principali di emissione sono 100 Hz, 200 Hz e 300 Hz; legate sia al fenomeno della magnetostrizione del nucleo che al rumore prodotto dai ventilatori*

## Soluzioni di mitigazione proposte

A seconda del tipo di macchina elettrica considerata, sono state proposte relative soluzioni di mitigazione.

### Reattori

Per entrambe le tipologie di reattori da 220 kV e 380 kV, stante la presenza sul progetto unificato di pareti parafiamma disposte laterali alle singole macchine nel caso di 380 kV e al complessivo gruppo di tre macchine per le 220 kV, l'intervento ha riguardato la chiusura lato frontale (opposto all'impianto) tramite parete fonoassorbente lato sorgente di altezza pari a quella dei muri parafiamma esistenti, completata o meno con oggetto lato reattore di circa 4 m con proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti su ambo i lati.

### Trasformatori

I trasformatori sono stati valutati a seconda della configurazione di pareti parafiamma prevista dal progetto unificato.

In particolare, i possibili schemi di installazione prevedono nel progetto unificato la presenza di:

- 2 pareti parafiamma (parallele alle linee elettriche, su lati opposti);
- 3 pareti parafiamma (chiusura su tre lati della macchina elettrica);
- 4 pareti parafiamma (chiusura su 4 lati della macchina elettrica).

Le soluzioni di mitigazione, vista l'impossibilità attuativa di proporre l'installazione di oggetti alle configurazioni di progetto, riguardano il rivestimento con materiale fonoassorbente del lato sorgente delle pareti parafiamma del progetto unificato, nelle tre condizioni di cui sopra.

### Contenuti della scheda tipo

L'abaco è stato strutturato in schede. Ciascuna scheda è dedicata a un'unica soluzione e in particolare a un'unica combinazione di:

- a. tipologia di macchina elettrica (tra n°2 reattori e n°4 trasformatori);
- b. frequenza di indagine (tra n°3 frequenze);
- c. tipologia di schermatura (schermatura frontale con e senza oggetto per i reattori e chiusura su 2 lati, 3 lati e 4 lati per i trasformatori).

Ciascuna scheda è corredata di pianta dell'intervento ANTE e POST, descrizione della soluzione, mappe acustiche ANTE, POST e di INSERTION LOSS.

I valori riportati nelle schede sono riportati a titolo indicativo per la sola quantificazione del valore di Insertion Loss.

## Conclusioni

In base a quanto emerso dallo studio sulle sorgenti principali presenti nelle stazioni elettriche, si può concludere quanto segue: per la sorgente "trasformatore", le frequenze principali di emissione sono 100 Hz, 200 Hz e 300 Hz, legate sia al fenomeno della magnetostrizione del nucleo che al rumore prodotto dai ventilatori. Per la sorgente "reattore", la frequenza principale di emissione è invece concentrata a 100 Hz e, in maniera minore, 200 Hz.

Partendo dalle caratteristiche delle emissioni sonore delle sorgenti di interesse è stato costruito un modello acustico specifico attraverso il quale poter studiare l'effetto di diverse soluzioni di mitigazione. In particolare, attraverso il modello suddetto è stato possibile investigare l'efficacia di apposite soluzioni di mitigazione integrabili con i muri parafiamma già previsti nel Progetto Unificato di TERNA e riguardanti l'adeguamento antincendio.

Attraverso la simulazione delle diverse soluzioni "tipo" abbinate alle diverse tipologie di sorgente, è stato predisposto un abaco delle soluzioni acustiche da utilizzare a seconda della tipologia di macchinario, dello scenario di emissione e dell'abbattimento acustico raggiungibile. —



# Il rischio da rumore nelle *attività lavorative*

## **Bruno Magaldi**

ingegnere, già responsabile del settore  
Ispezione della Direzione Regionale  
del Lavoro della Toscana

## **Premessa**

Dal punto di vista fisico, non esiste alcuna differenza fra musica e rumore.

Si tratta infatti, in entrambi i casi, di un insieme di suoni di varie frequenze e durata nel tempo con trasmissione di energia.

Questa si propaga attraverso un mezzo (aria, liquido, solido ecc.) sotto forma di vibrazioni che si traducono in variazioni di pressione fino a raggiungere un ricevitore: nello specifico che qui ci interessa, l'orecchio umano.

Per altro; mentre la musica si può definire come la combinazione di più suoni in base a regole e frequenze ben definite e studiate, il rumore è un fenomeno acustico irregolare e casuale.

Rombo.  
Scatto di Daniele  
Stefanizzi



*Nella Bibbia si narra ad esempio che, intorno all'anno 1450 avanti Cristo, Giosuè, che doveva guidare gli ebrei alla terra promessa, ebbe ragione della città di Gerico facendone crollare le mura col suono delle trombe*

Generalmente la musica dovrebbe trasmettere al nostro apparato uditivo sensazioni piacevoli, mentre il rumore arreca quasi sempre un senso di fastidio e in molti casi anche di dolore.

Naturalmente, soggettivamente parlando, a nessuno sfugge la differenza fra il piacevole ascolto di un brano di musica classica e quello offerto dalla musica del fracassone del piano di sopra.

Lasciando da parte suoni, musica, frequenze, pressioni sonore ecc., vorrei concentrarmi sul rumore, nella sua accezione comune, che, quando supera certi limiti, può causare effetti negativi sull'apparato uditivo delle persone, e in partico-

lare su coloro che ne sono esposti nelle attività lavorative.

Che il rumore possa avere un effetto dirompente e a volte anche devastante, è noto fin dai tempi più antichi.

Nella Bibbia si narra ad esempio che, intorno all'anno 1450 avanti Cristo, Giosuè, che, succeduto a Mosè, doveva guidare gli ebrei alla terra promessa, ebbe ragione della città di Gerico facendone crollare le mura col suono delle trombe.

La Bibbia non dice però che fine fecero i timpani dei suonatori.

E, nel corso dei secoli, stragi di timpani furono certo perpetrate a danno di tutti coloro che nelle varie attività furono sottoposti a lavorazioni che comportavano continui e forti rumori, con la conseguenza di renderli sordi o quasi sordi già intorno ai trenta-quarant'anni.

Il fenomeno era conosciuto ma, naturalmente, veniva accettato come inevitabile.

Carbone.  
Scatto di Daniele  
Stefanizzi.





Organetto. Lavapiés  
Mercato del Rastro,  
Madrid. Scatto di Woodi  
Forlano.

### Gli studi di Bernardino Ramazzini

All'alba del secolo dei lumi, un medico italiano, Bernardino Ramazzini, pubblicò a Padova il trattato "De morbis artificum diatriba" – (Le malattie dei lavoratori), nel quale analizzò ed esaminò a fondo, per un elevato numero di mestieri, il contesto delle diverse condizioni di lavoro, descrivendone i possibili rischi per la salute e le correlate malattie che colpivano i lavoratori, suggerendo anche metodi di prevenzione e possibili rimedi.

Oltre a ciò prese in considerazione, integrandole con i dati già ottenuti, le condizioni climatiche in cui i vari lavori erano o potevano essere svolti.

Inoltre la relazione tra rischi e malattie ha anticipato l'attuale metodo scientifico, ancora oggi utilizzato, basato su studi epidemiologici.

Quest'opera, primo studio nella storia della medicina sulle malattie conseguenti ad attività lavorative, (sono le odierne malattie professionali!), è considerata l'atto fondante di quella branca della medicina, che oggi chiamiamo "Medicina del lavoro".

E il Ramazzini, medico e patologo, nato a Carpi nel 1633, che fu titolare della cattedra di medicina nell'Università di Padova, città in cui morì nel 1714, ne può essere considerato a buon diritto il fondatore.

Chiaramente l'opera del Ramazzini non poteva essere destinata ai lavoratori e nemmeno ai datori di lavoro (che allora si chiamavano padroni) in quanto all'epoca pochissimi sapevano leggere e scrivere (oltretutto il testo originale era scritto in latino), ma la sua intenzione era quella di sensibilizzare i cattedratici, gli studiosi, i medici e, non ultimi, i principi più illuminati al fine di spingerli a migliorare le condizioni dei loro sudditi.

E a proposito del rumore e delle sue conseguenze, esaminando il lavoro dei calderai scriveva "... È possibile vedere questi lavoratori, curvi tutto il giorno a battere, prima con martelli di legno e poi di ferro il rame nuovo fino a ridurlo alla duttilità voluta. È inevitabile che quel continuo frastuono produca disturbi alle orecchie e anche a tutta la testa; quei lavoratori diventano mezzi sordi e, se invecchiano nel mestiere, sordi del tutto... Le orecchie si potrebbero turare con cotone, per proteggere un po' dal rumore le

*L'opera  
del Ramazzini  
non poteva  
essere destinata  
ai lavoratori  
e nemmeno  
ai datori  
di lavoro  
(che allora  
si chiamavano  
padroni) in  
quanto  
all'epoca  
pochissimi  
sapevano  
leggere  
e scrivere*



*parti interne e si potrebbero ungere con olio di mandorle dolci, quando sono troppo logorate e colpite da quel continuo fracasso”.*

E, come si vede, per proteggere le orecchie o almeno limitarne i danni suggerisce di usare dei tappi di cotone.

È lo stesso metodo utilizzato da Ulisse che, come si legge nell’*Odissea*, per evitare che i suoi marinai ascoltassero il canto delle sirene e ne fossero ammaliati, impose a tutti di turarsi le orecchie con della cera (lui però, per potersi deliziare al canto delle sirene senza esserne irretito, adottò l’accorgimento di farsi legare all’albero maestro dell’imbarcazione).

Nonostante le considerazioni del Ramazzini e le sue raccomandazioni, salvo forse rare eccezioni i lavoratori esposti al rumore continuarono a perdere progressivamente l’udito.

Né le cose migliorarono quando, con la cosiddetta rivoluzione industriale, furono introdotti i telai meccanici e, a poco a poco, tutte le altre macchine operatrici che, pur rendendo meno faticoso e più celere il lavoro degli operatori, non risparmiarono certo i loro timpani.

### Le prime normative a tutela dei lavoratori

Con l’avvento del Regno d’Italia, con le prime istanze sociali, si cominciò anche da parte dei “padroni” più sensibili e illuminati a pensare alla sicurezza dei lavoratori e a cercare di prevenire le cause degli infortuni e delle malattie correlate con le attività lavorative (le prime disposizioni in materia di prevenzione degli infortuni sono del 1898).

Si cominciò a parlare, per altro in modo molto generico, di proteggere i lavoratori dai “rumori dannosi”, nel regolamento di igiene di cui al Regio Decreto 14/04/1927 n. 530.

***Con l’avvento del Regno d’Italia, con le prime istanze sociali, si cominciò anche da parte dei “padroni” più sensibili e illuminati a pensare alla sicurezza dei lavoratori e a cercare di prevenire le cause degli infortuni e delle malattie correlate con le attività lavorative***

E la norma fu ripresa quando, dopo l’avvento della Repubblica, negli anni 1955-56 si procedette a un riordino di tutta la materia relativa alla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori.

Nel D.P.R. 19/03/1956 n. 303, “Norme generali per l’igiene del lavoro”, l’art. 24 recitava testualmente: *“Nelle lavorazioni che producono scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, devono essere adottati i provvedimenti consigliati dalla tecnica per diminuirne l’intensità”.*

Un articolo precedente, il 19, prescriveva: *“Il datore di lavoro è tenuto ad effettuare, ogni qualvolta è possibile, in luoghi separati le lavorazioni pericolose o insalubri allo scopo di non esporvi senza necessità i lavoratori addetti ad altre lavorazioni”.*

Un successivo articolo poi, il 33, prescriveva da parte di un medico competente visite preventive e periodiche per i lavoratori impegnati in lavorazioni *“comunque nocive indicate nella tabella allegata al presente decreto”.*

E nella tabella allegata, al numero 49, era previsto, ma solo per alcune lavorazioni, il rischio da rumore.

Le norme erano sanzionate penalmente ma, come si vede, nella loro genericità e soggettività che traspaiono dal testo stesso degli articoli (...*“devono essere adottati i provvedimenti consigliati dalla tecnica”... “ogni qualvolta è possibile”...*), l’adempimento era praticamente lasciato alla buona volontà, alla sensibilità e allo scrupolo dei datori di lavoro (salvo che nei più accaniti conflitti sindacali. non erano più chiamati “padroni”) e alla consapevolezza degli stessi lavoratori.

Generalmente, quando il rumore era insopportabile, si ricorreva a fornire ai lavoratori tappi per gli orecchi o, se proprio si voleva fare le cose in grande, cuffie antirumore che peraltro, nei primitivi modelli, erano viste con diffidenza dagli stessi lavoratori in quanto indossandole davano loro un senso di isolamento, non permettevano di recepire le voci dei colleghi o le direttive dei capi reparto e arrossavano fastidiosamente le orecchie.

Quante volte, nella mia attività ispettiva, mi è capitato di sorprendere un lavoratore impegnato in un’attività estremamente rumorosa, e vedere la cuffia bellamente attaccata a un gancio o addirittura ancora avvolta nella sua confezione originale!

Comunque, negli anni settanta-ottanta, l'Inail cominciò a riconoscere e a indennizzare come malattia professionale l'ipoacusia da rumore, ci furono nelle preture condanne per lesioni colpite a carico di datori di lavoro, si cominciarono a effettuare controlli sui livelli di rumorosità servendosi dei primi fonometri che, peraltro, rilevavano soltanto il livello istantaneo raggiunto dai decibel dB(A).

### Il D.lgs 15/08/1991 n. 277

Ma la vera svolta avvenne con l'entrata in vigore del D.lgs 15/08/1991 n. 277 – Decreto in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici.

Per quel che attiene il rischio da rumore, in detto decreto, si prescrive che il datore di lavoro proceda preliminarmente a una valutazione del livello di rumorosità che si produce durante il lavoro, individui i luoghi o i reparti dove si raggiungono livelli potenzialmente nocivi, al fine di identificare e classificare il grado di rischio cui possono essere esposti i lavoratori.

Sulla base di detta rilevazione, il datore di lavoro dovrà mettere in atto le tutte le necessarie misure preventive e protettive al fine di tutelare l'integrità fisica dei lavoratori esposti e migliorare le condizioni lavorative.

In pratica il datore di lavoro doveva procedere a una vera e propria valutazione dei rischi che anticipò quella che sarà poi codificata, per tutte le situazioni di rischio, nell'innovativo e per certi versi rivoluzionario D.Lgs 626/94.

Caos al Bar Tirador, Logroño. Scatto di Woodi Forlano.





***Ne è passato di tempo dai battitori di rame del Ramazzini. Oggi esistono norme, comportamenti e tutele che dovrebbero permettere a tutti i lavoratori di raggiungere l'età della pensione senza problemi di ipoacusia causati dalla loro attività precedente***

Spuntarono come funghi tecnici specializzati nella rilevazione del rumore, furono messi in commercio fonometri integratori sofisticatissimi, i datori di lavoro dovettero redigere e tenere a disposizione degli organi di vigilanza un rapporto nel quale venivano indicati i criteri e le modalità di effettuazione delle valutazioni, aggiornandolo ogniqualvolta si registravano significative variazioni nelle lavorazioni.

I dipendenti esposti al rischio da rumore quando il livello equivalente settimanale (LepW) di rumorosità superava gli 80 dB, o quando in ogni caso erano esposti a una rumorosità considerata eccessiva, furono sottoposti a regolari visite mediche preventive e periodiche da parte del medico competente e, se del caso, da parte di specialisti otorini.

Per quel che riguarda la prevenzione, il datore di lavoro doveva cercare di eliminare o ridurre al minimo il rumore alla fonte, ricorrendo a opportune schermature isolanti, all'installazione di pannelli fono assorbenti in grado di evitare le riverberazioni e a tutti gli altri accorgimenti che potevano essere recepiti sulla base del progresso tecnico.

Suo compito era anche quello di isolare per quanto possibile le lavorazioni eccessivamente rumorose, e fare in modo che alle stesse fosse adibito solo il personale strettamente necessario e per il minor tempo possibile, ricorrendo eventualmente anche a turnazioni.

Da ultimo, esauriti questi essenziali adempimenti e fermo restando l'obbligo di far sottoporre i lavoratori a visita medica preventiva e periodica da parte del medico competente, il datore di lavoro doveva mettere loro a disposizione idonei DPI,

dispositivi di protezione individuale, tappi auricolari o soprattutto, in caso di elevata rumorosità, cuffie antirumore.

Oggi ne esistono di tanti tipi, di buona portabilità, con ottimi livelli di attenuazione e che permettono anche, senza spostare la cuffia, di recepire comunicazioni e conversazioni.

Come è noto, il D.Lgs 9/04/2008, n.81, ha creato un Testo Unico per la Sicurezza, recependo, aggiornando, integrando e in parte modificando le varie norme in materia emanate negli anni precedenti.

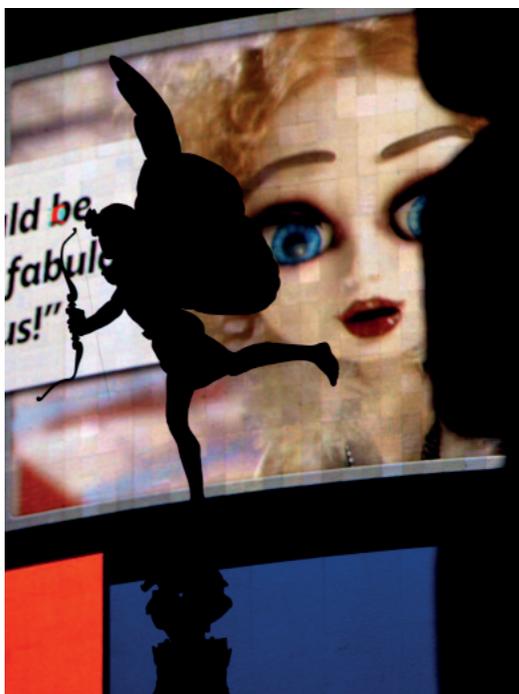
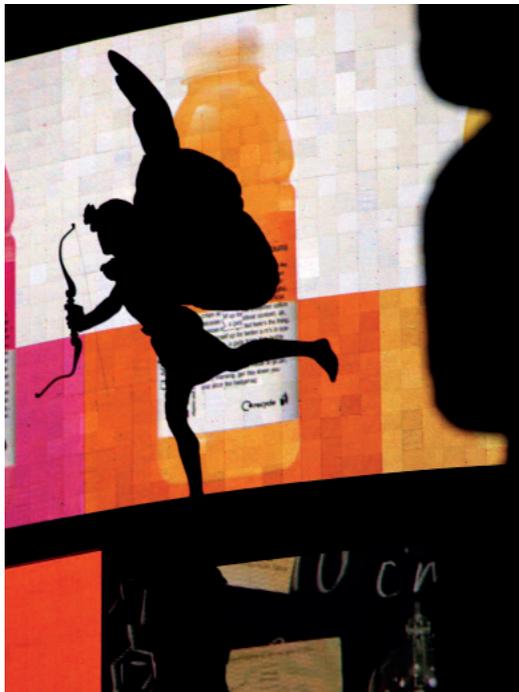
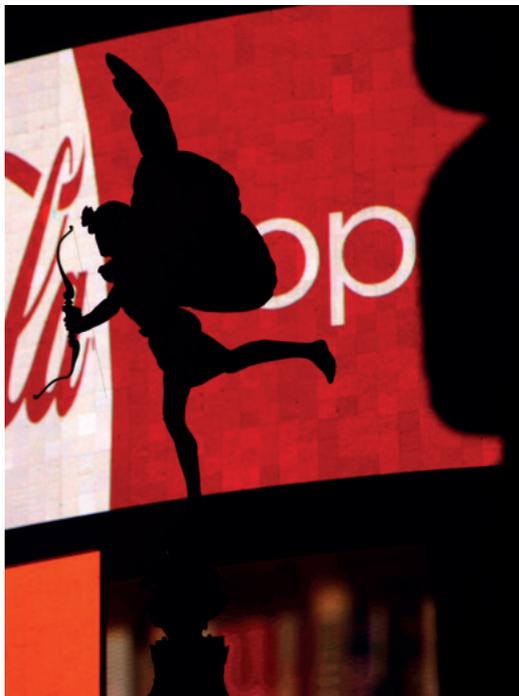
Le norme del D.Lgs 277/91 si ritrovano, senza significative modifiche, a riprova della loro validità, nel Capo II del Titolo VIII – Agenti fisici, negli articoli dal 187 al 198.

## Conclusioni.

Ne è passato di tempo dai battitori di rame del Ramazzini. Oggi esistono norme, comportamenti e tutele che dovrebbero permettere a tutti i lavoratori di raggiungere l'età della pensione senza problemi di ipoacusia causati dalla loro attività precedente.

Naturalmente occorre l'impegno di tutti, datori di lavoro, dirigenti, medici competenti, responsabili della sicurezza e, non ultimi, i lavoratori stessi che devono essere edotti sul rischio cui possono andare incontro, devono accettare le norme di tutela loro impartite, usufruire correttamente dei DPI messi a loro disposizione e, in definitiva, difendere consapevolmente la loro integrità fisica.

Un'ultima considerazione: i nostri giovani che frequentano assiduamente le discoteche e che durante la giornata portano costantemente gli auricolari per ascoltarne poi la musica isolandosi dall'ambiente circostante, hanno un'idea dei decibel ai quali sottopongono i loro apparati uditivi? —



# Suoni dallo spazio profondo

di  
**Giuliano Gemma**

“LO SPAZIO È PIENO DI MISTERI”, recitava una strofa della sigla italiana di “Spazio 1999”, celebre serie televisiva degli anni '70. I progressi della ricerca nel campo della fisica e della matematica rendono lo spazio un luogo meno misterioso.

Il suono, inteso come propagazione di onde di pressione nel mezzo materiale, non si propaga nel vuoto. Eppure l'Universo brulica di oggetti che “suonano”, a volte nel vero senso della parola, altre in senso lato.

## Le pulsar

Nel 1967 a Cambridge fu costruito un radiotelescopio allo scopo di analizzare le variazioni dei segnali provenienti da radiosorgenti compatte, come ad esempio i *quasar*. Consisteva in migliaia di pali e 2000 dipoli connessi da cir-

“It's like Piccadilly Circus on a friday night!”, Londra.  
Scatto di Woodi Forlano.



La dottoressa S. Jocelyne Bell Burnell, foto d'epoca al radiotelescopio di Cambridge realizzato nel 1967. Per riferimenti, <http://www.bigear.org/vol1no1/burnell.htm>.



ca 120 miglia di cavi, e si estendeva su un'area equivalente a 57 campi da tennis. Il progetto, sotto la supervisione del professor Antony Hewish, insignito, insieme a Martin Ryle, nel 1974 del Premio Nobel per i particolari meriti nel campo della radioastronomia, era sotto la responsabilità della ricercatrice S. Jocelyn Bell Burnell, che lo manovrava e ne analizzava i dati prodotti.

*Il progetto, sotto la supervisione del professor Antony Hewish, insignito, insieme a Martin Ryle, nel 1974 del Premio Nobel per i particolari meriti nel campo della radioastronomia, era sotto la responsabilità della ricercatrice S. Jocelyn Bell Burnell*

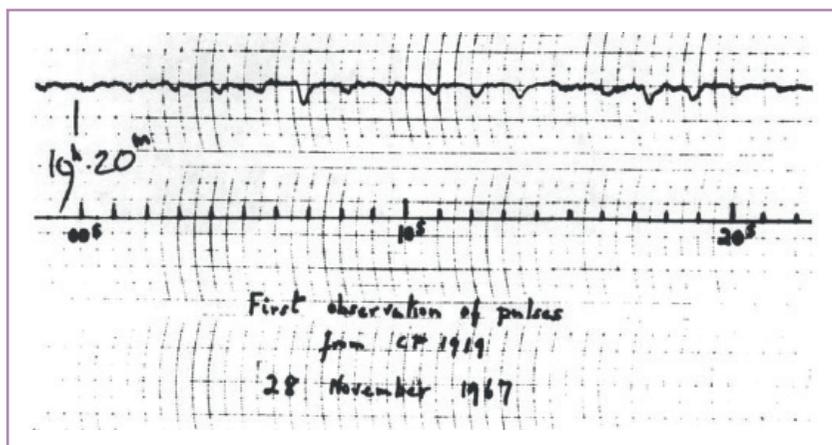
Il radiotelescopio sondava il cielo in cerca di onde radio e registrava su nastri di carta, per mezzo di pennini mobili, i segnali ricavati. La dottoressa Bell notò dello "sporco" nelle registrazioni, una figura che si ripeteva con la sorprendente regolarità di 1,33 secondi circa tutte le volte che veniva esplorata la stessa regione dello spazio, nelle vicinanze della costellazione della Volpetta.

Questo fatto non corrispondeva alle caratteristiche di nessun oggetto celeste allora conosciuto, sembrava piuttosto un segnale artificiale o un'interferenza radio.

Sottopose il risultato all'attenzione del professor Hewish, che sulle prime attribuì il fenomeno a una sorgente umana. Ma la dottoressa Bell non vedeva il motivo di escludere che i segnali potessero provenire da una stella.

Gli scienziati lavorarono per tutta l'estate del 1967 e fino all'inizio dell'anno successivo.

Restava il mistero. Si trattava di impulsi generati dall'uomo o erano segnali provenienti da mondi lontani? Se quest'ultimo fosse stato il motivo, il segnale avrebbe dovuto rivelare variazioni di frequenza dovute all'effetto Doppler, in



La registrazione del segnale captato dalla dottoressa Bell.

conseguenza del moto del pianeta d'origine intorno alla sua stella. Il professor Hewish indagò l'eventualità, ma le uniche variazioni riscontrate erano riconducibili al moto della Terra intorno al Sole. Gli scienziati erano convinti che non si trattasse di segnali artificiali, ma neppure erano in grado di spiegare il fenomeno come naturale. L'idea di comunicare al mondo la scoperta, con la possibilità della presenza di una civiltà extraterrestre, comportava una certa dose di responsabilità.

Sulle prime questo segnale fu chiamato LGM<sub>1</sub> (acronimo di Little Green Men 1), poiché il sospetto che potesse provenire da remote regioni dello spazio per opera di "piccoli omini verdi" era forte, data la sua eccezionale regolarità. Poi si notò, sui vari chilometri di registrazioni, che segnali analoghi provenivano anche da altre regioni dello spazio. L'idea che gli "omini verdi" da più punti dell'Universo avessero scelto proprio la Terra per segnalare la loro presenza fu presto abbandonata in favore della convinzione che si dovesse trattare di un oggetto fino ad allora sconosciuto, a cui fu dato il nome di *pulsar*, stella pulsante, fusione delle parole inglesi *star* e *pulsating*.

L'anno seguente furono lo scienziato italiano Franco Pacini, in seguito direttore dell'osservatorio di Arcetri, e Thomas Gold a fornire una prima spiegazione al fenomeno, collegando i segnali provenienti dalle *pulsar* alle stelle di neutroni rotanti rapidamente.

Pacini all'epoca era un giovane ricercatore alla Cornell University di New York. In un articolo pubblicato pochi mesi prima della scoperta di Hewish e della Bell, aveva ipotizzato che potessero essere i forti campi elettromagnetici generati da una stella di neutroni rotanti a essere la sorgente dell'energia proveniente dalla

Lo scienziato italiano  
Franco Pacini.



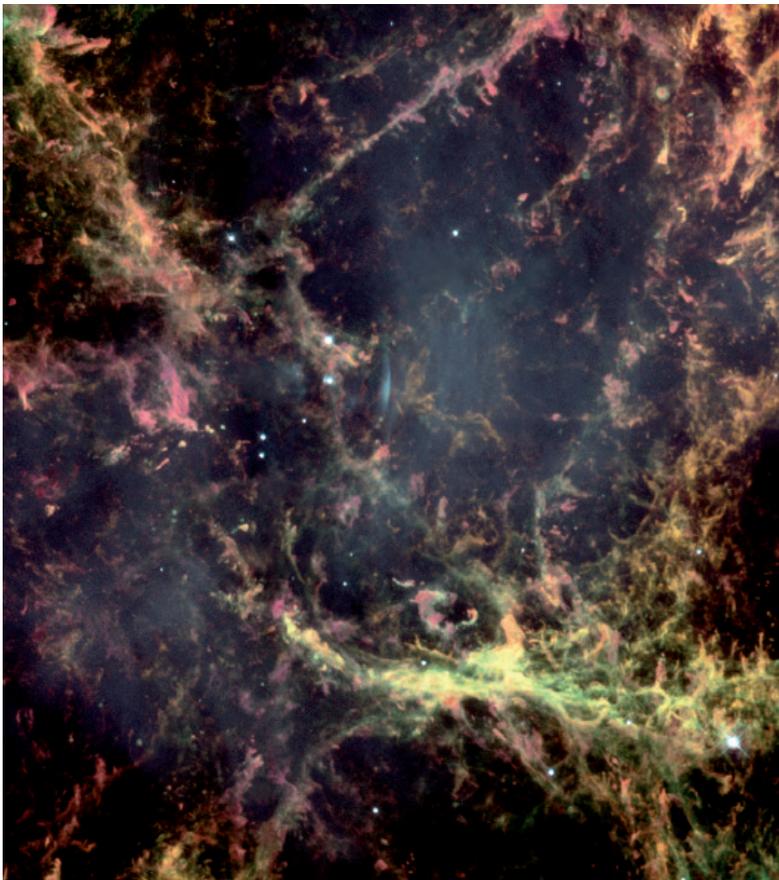
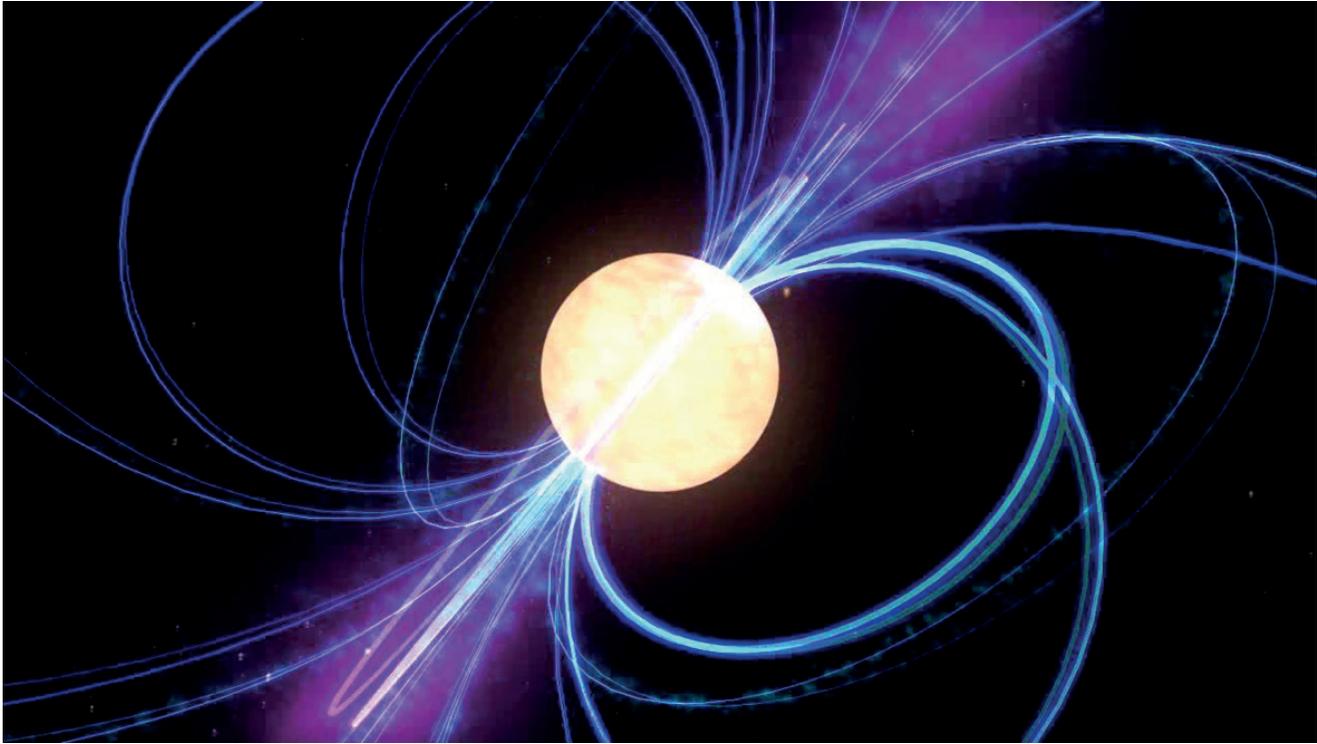
nebulosa del Granchio, posta nelle vicinanze della costellazione del Toro e risultato dell'esplosione di una supernova avvenuta nel 1050 d.C., registrata anche negli annali degli astronomi cinesi dell'epoca. Il fenomeno si manifestò come la comparsa improvvisa di una nuova stella, talmente luminosa da poter essere osservata a occhio nudo anche di giorno per alcune settimane.

Gold, sulla base di precedenti ipotesi della presenza di una stella di neutroni posta al centro della nebulosa del Granchio con un enorme campo magnetico dell'intensità di 10 G, propose il concetto delle *pulsar* rotanti, che irradiano energia attraverso l'emissione di radiazioni e di particelle relativistiche dai poli di questo campo.

**L'anno seguente furono lo scienziato italiano Franco Pacini, direttore in seguito dell'osservatorio di Arcetri a Firenze, e Thomas Gold a fornire una prima spiegazione al fenomeno**



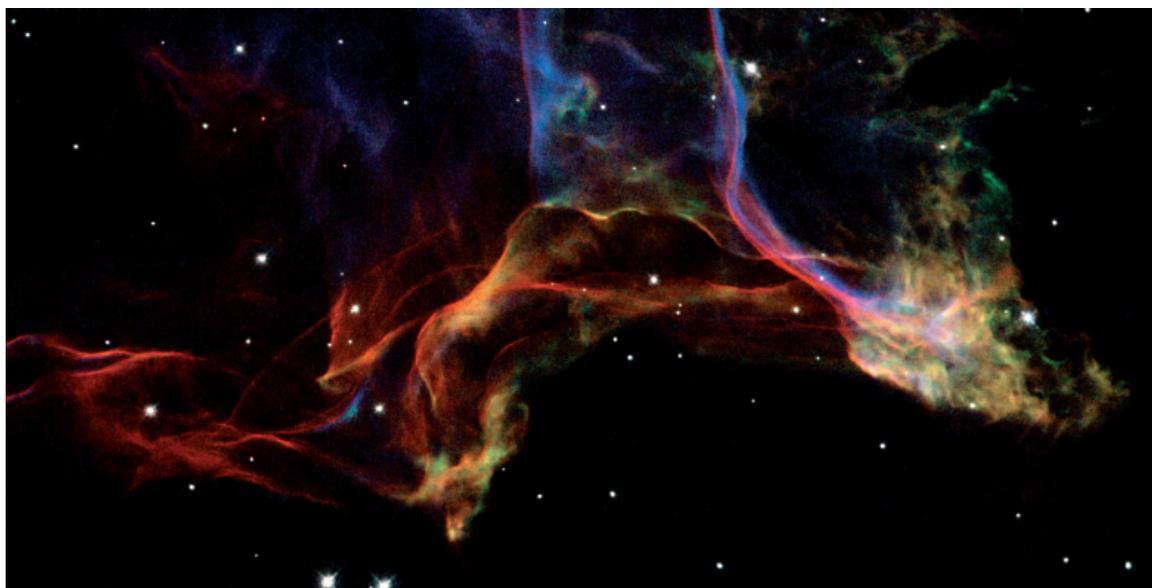
Rappresentazione artistica di una pulsar. I fasci di radiazioni sono emessi in corrispondenza delle linee aperte dell'enorme campo magnetico (linee blu).



Si scoprì in seguito che al centro delle nebulose del Granchio e della Vela, entrambe resti di un'esplosione di supernova, vi erano delle *pulsar* rotanti rispettivamente con periodi di 33 e 89 millisecondi.

Ciò costituiva una forte conferma dell'ipotesi che le stelle di neutroni potessero essere il risultato del collasso di una stella massiva (con massa superiore a cinque masse solari) al termine della sequenza principale della sua vita.

Crab Nebula, M1, NGC 1952.  
Credit: NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).  
Acknowledgment: W.P. Blair (JHU).



Veil Nebula.  
Credit: NASA, ESA, and  
the Hubble Heritage  
(STScI/AURA)-ESA/  
Hubble Collaboration.  
Acknowledgment:  
J. Hester (Arizona State  
University).

## Genesi di una stella di neutroni

Le stelle di neutroni si formano in seguito al collasso gravitazionale di materia con massa superiore a cinque volte quella del Sole, in processi come quelli di esplosione di supernova o di accrescimento di una nana bianca, che sottrae materiale da una stella compagna.

Questo collasso produce pressioni così elevate che elettroni e protoni “fondono” insieme formando neutroni e liberando un’enorme quantità di energia che dà origine alle esplosioni di supernovae. In poche parole, una stella di neutroni somiglia a un enorme nucleo atomico, con densità simile, vale a dire  $10^{14}$  volte più alta di quella media terrestre.

Le stelle di neutroni hanno un raggio di solo qualche decina di km, pertanto la forza di gravità prodotta è enorme, e solo la pressione di repulsione tra neutroni (dovuta a forze nucleari) riesce a resistere all’intenso campo gravitazionale. Tuttavia, se la massa della stella supera un limite di circa tre masse solari, nemmeno la forza nucleare riesce a resistere alla gravità, col risultato che il collasso non potrà essere più fermato e concentrerà tutta la materia in un punto dello spazio, formando una singolarità spazio-temporale, nota anche come “buco nero”.

Per restare al caso delle *pulsar* che si formano da una supernova, facciamo un succinto (e senza

pretesa di esaustività) racconto delle fasi di vita di una stella.

Una stella è un sistema complesso, in cui l’immensa energia delle forze gravitazionali della materia che la compone rimane in equilibrio idrostatico con l’energia delle forze termodinamiche prodotte dalle reazioni nucleari che avvengono al suo interno.

La forza gravitazionale tende a far collassare la materia su se stessa, che quindi si riscalda. Quando le temperature sono sufficientemente elevate (milioni di °K) si innescano delle reazioni nucleari fra i suoi atomi (prevalentemente idrogeno ed elio) che, essendo esotermiche, producono energia.

Una stella con massa superiore a 25 masse solari “brucia”<sup>1</sup> il suo combustibile nucleare in varie fasi.

Dapprima trasforma gli atomi di idrogeno in elio, che essendo più pesante cade verso l’interno, il *core* della stella. Quando la quantità di idrogeno non è più sufficiente a sostenere queste reazioni nucleari, la stella si raffredda e la gravità non può

<sup>1</sup> Gli astrofisici chiamano “bruciamenti” i processi chimici che governano le reazioni nucleari che producono energia dalla fusione di atomi.

*Le stelle di neutroni hanno un raggio di solo qualche decina di km, pertanto la forza di gravità prodotta è enorme, e solo la pressione di repulsione tra neutroni (dovuta a forze nucleari) riesce a resistere all’intenso campo gravitazionale*



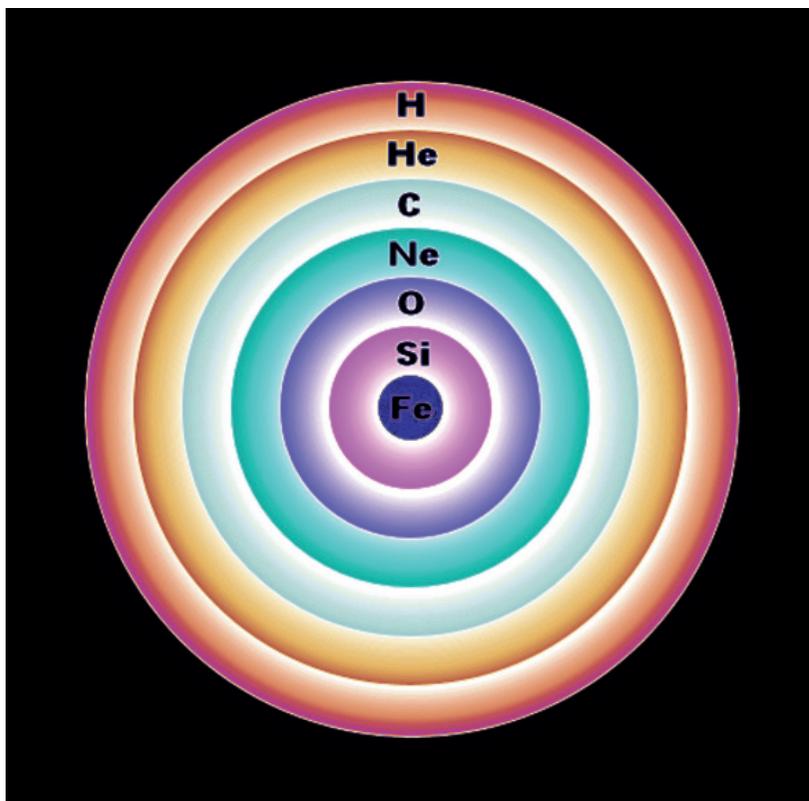
Struttura di una stella evoluta, fonte Wikipedia.

contrastata da altre forze comprime il nucleo di elio riscaldandolo. Si innescano quindi nuove reazioni nucleari che producono energia e carbonio.

Questo processo si ripete simile in successive fasi, sempre più brevi e con temperature sempre più elevate, di bruciamenti e collassi che producono in sequenza neon, ossigeno fino al silicio. Una stella evoluta assume una struttura a cipolla, i cui strati contengono i vari elementi prodotti in ordine di pesantezza crescente dall'esterno verso l'interno.

Quando viene bruciato anche tutto il silicio, si forma un nucleo di ferro. A questo punto il processo termina, poiché le reazioni per bruciare il ferro richiederebbero energia dall'esterno.

Non essendoci più energia a contrastare la forza di gravità, tutta la materia della stella collassa verso il centro in pochi millisecondi, provocando un'onda d'urto a cui consegue una devastante esplosione. Tutto il materiale stellare viene scagliato verso l'esterno e nell'enorme calore prodotto si formano tutti gli altri elementi. Questa è un'esplosione di supernova di tipo II.



*Non essendoci più energia a contrastare la forza di gravità, tutta la materia della stella collassa verso il centro in pochi millisecondi, provocando un'onda d'urto a cui consegue una devastante esplosione*

Ciò che rimane è una stella di neutroni, ma se la sua massa supera il limite di Oppenheimer-Volkoff (circa due-tre masse solari) si trasforma direttamente in un buco nero.

Queste stelle ruotano su se stesse molto rapidamente e hanno un raggio di pochi chilometri. Il perché di questa rapida rotazione, ce lo dice la legge di conservazione del momento angolare. Una stella rotante che collassando passa da milioni a pochi chilometri di raggio, si comporta allo stesso modo di una ballerina che voltando su

| Combustibile      | Durata bruciamento |
|-------------------|--------------------|
| Idrogeno          | 5 milioni di anni  |
| Elio              | 500000 anni        |
| Carbonio          | 500 anni           |
| Neon              | 1 anno             |
| Silicio           | 1 giorno           |
| Collasso del core | 1/4 di secondo     |

Durata dei bruciamenti dei vari elementi per una stella con massa maggiore di 25 masse solari.

se stessa a braccia aperte aumenta la sua velocità di rotazione quando ritira a sé le braccia (il momento angolare si conserva). Inoltre possiedono campi magnetici enormi. Dai poli del campo magnetico si propagano sia onde radio che fasci di raggi X ad alta energia, osservabili con un radiotelescopio o con telescopi sensibili alle alte energie, come il telescopio spaziale Chandra<sup>2</sup>. Osservativamente, si comportano come dei fari nella notte. È appunto quando la loro luce, che fuoriesce dai poli del suo campo magnetico rotante, investe il campo visivo delle strumentazioni che la possiamo osservare.

Col passare del tempo una *pulsar* rallenta la sua rotazione a causa della perdita di energia emessa sotto forma di radiazioni e particelle relativistiche oltre che della forza frenante prodotta dalla componente trasversale del suo campo magnetico.

Il tasso di rallentamento è piuttosto basso. Una stella di neutroni può perdere fino a un massimo di un millisecondo in un tempo pari all'età dell'Universo! Nonostante questa lentezza, tale quantità si riesce a misurare con accuratezza, il che fa delle *pulsar* orologi astronomici estremamente precisi.

Una stella di neutroni può variare la sua velocità di rotazione anche a causa di altri fenomeni, chiamati stellamoti per analogia con i terremoti.

Come già detto, una stella di neutroni è un corpo eccezionalmente compatto, fluido al suo interno per l'intenso calore, ma formato all'esterno da una crosta solida. Questa crosta, per effetto delle forze generate al suo interno e delle forze di rotazione prodotte dall'enorme velocità che in superficie raggiunge i 10.000 km/s (considerando 10 km di raggio e periodo di 1 ms, circa il 3% della velocità della luce!), subisce dei mutamenti improvvisi, chiamati *glitch*, che sono osservabili nella variazione della velocità di rotazione della stella.

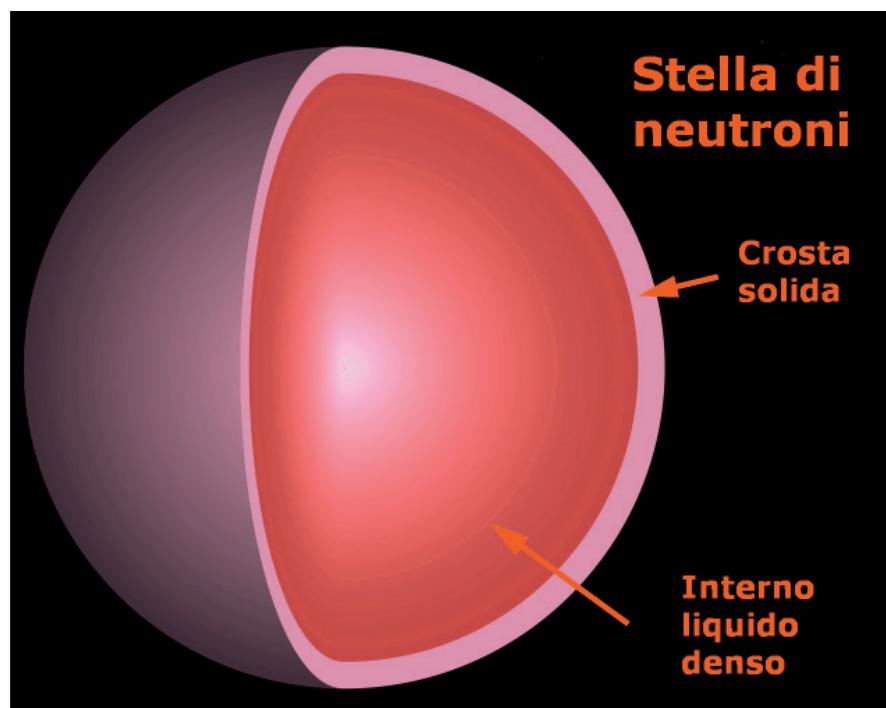
### Il canto delle *pulsar*

Ma com'è la voce di una *pulsar*? Qual'è il suo canto attraverso l'Universo?

Come precedentemente illustrato, le *pulsar* ruotano su se stesse da un minimo di una volta ogni 10 secondi, con una frequenza di 0.1 Hz, a migliaia di volte al secondo, con una frequenza di circa 1000 Hz. Se queste frequenze si riferissero a onde di pressione nell'aria potrebbero corrispondere a suoni udibili.

Così, per rendere il fenomeno percettibile, viene generato artificialmente un suono che riproduce la forma d'onda della radiazione emessa

Schematicamente, una stella di neutroni presenta una crosta solida, l'interno si trova allo stato fluido in estreme condizioni di pressione e temperatura.



<sup>2</sup> Per riferimenti, <http://chandra.harvard.edu>, Chandra X-ray Observatory – NASA flagship X-ray telescope.

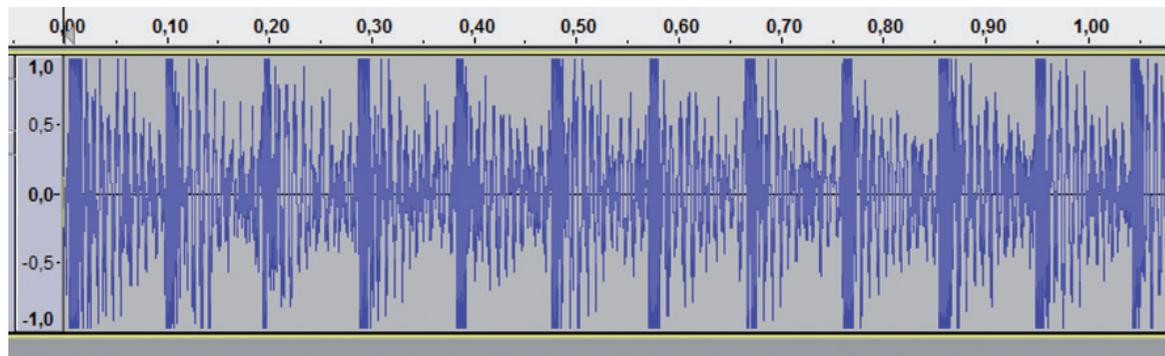


(registrata ad esempio a una frequenza di centinaia di alcuni MHz), che si ripete a intervalli temporali regolari di ampiezza uguale al periodo di rotazione.

Le *pulsar* che ruotano più lentamente, una volta ogni pochi secondi come ad esempio la PSR J0332+5434, producono un suono che assomiglia ad un lento bussare: toc, toc, toc...

La *pulsar* delle Vele (PSR J0835-4510) ruotando alla velocità di 89 ms, quindi a una frequenza di 11,236 Hz, ha un suono simile ad un rapido tamburello.

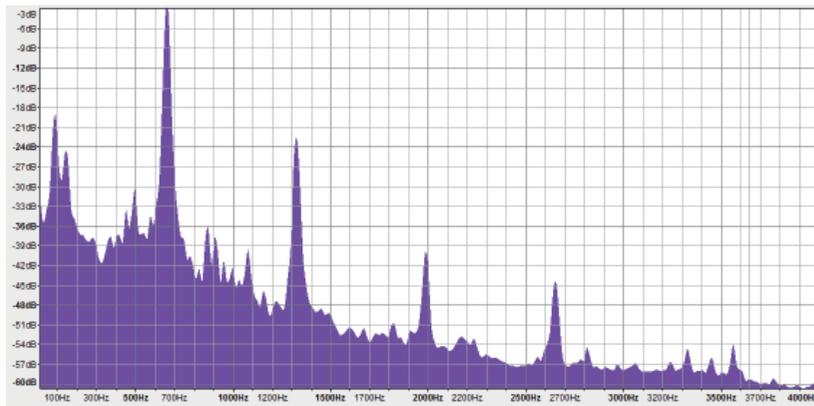
Il grafico riporta in ascissa il tempo in secondi. Il "suono" della *pulsar* delle Vele, mostra picchi circa 11 volte al secondo.



Quelle che ruotano decine o centinaia di volte al secondo, come la *pulsar* del Granchio (PSR J0534+2200) producono una specie di ronzio, di altezza più o meno alta a seconda della frequenza: trrrrrrrrrrrrrrrrrrr...

Quelle più veloci che ruotano migliaia di volte al secondo generano un vero e proprio suono, come ad esempio la *pulsar* PSR B1937+21, una *pulsar* millisecondo (MSP, acronimo di MilliSecond Pulsar) scoperta nel 1982 e ruotante 641 volte al secondo, una sorta di Mi bemolle crescente.

3 <https://www.youtube.com/watch?v=jFLbKFUr6ak>.



## Un entusiasmante laboratorio

Le immagini e i suoni dell'Universo costituiscono fonte di ispirazione per molti artisti.

Il suono delle *pulsar* è stato utilizzato come materiale sonoro da Mickey Hart, percussionista dei Grateful Dead, in alcune sue *performance* artistiche<sup>3</sup>.

Questi fenomeni non ispirano solo gli artisti, ma stimolano anche gli studiosi. Le stelle di neutroni rappresentano un entusiasmante laboratorio di ricerca, in particolar modo per lo studio

della materia super-densa (con densità nucleari molte volte superiori a quella della materia ordinaria) e della relatività ristretta e generale.

Infatti sulla Terra non sono facilmente riproducibili le condizioni di alta densità nucleare e di estrema gravità che invece si possono trovare naturalmente su queste stelle esotiche. E' vero che gli scienziati non si possono recare sulle stelle di neutroni per effettuare test o prelevare campioni, ma attraverso misurazioni molto precise dei parametri osservabili, quali ad esempio raggio, massa, momento di inerzia, periodo di rotazione ed energia irradiata, è possibile elaborare modelli ed averne conferma in base ai dati raccolti.

Le congetture sulla composizione dell'interno delle stelle di neutroni, possono essere più o meno confermate elaborando modelli sulle equazioni di stato (EOS) della materia della quale sarebbero formate. Se le predizioni sui parametri

Lo spettro del "suono della *pulsar* millisecondo PSR B1937+21, che ruota su sé stessa ogni 1,56 ms. Si può osservare un picco intorno alla frequenza di 641 Hz".

osservabili ricavate da un modello matematico sono compatibili con le evidenze osservative di oggetti con le stesse caratteristiche fisiche di partenza, allora c'è una buona probabilità che il modello descriva l'oggetto osservato.

Anche la teoria della Relatività Generale è messa alla prova attraverso questi laboratori spaziali.

Cent'anni fa Albert Einstein propose quella che oggi è nota come "Equazione di campo di Einstein", che descrive la gravità come curvatura dello spazio-tempo e che costituisce il cuore della Relatività Generale, pubblicata nel 1916. Ad oggi la teoria è stata più volte confermata attraverso numerosi esperimenti, ma le nuove scoperte, specialmente in campo cosmologico, pongono la questione di considerare modelli della gravità alternativi. I test fino ad ora condotti all'interno del sistema solare non offrono quelle condizioni estreme di gravità presenti in sistemi quali ad esempio la PSR J0737-3039A e la PSR J0737-3039B nella costellazione della Poppa a 1600 anni luce da noi, due *pulsar* binarie che orbitano reciprocamente con un periodo di sole 2,4 ore e ruotano su se stesse con periodi di 22,8 ms e 2,8 s. È come se avessimo due orologi molto precisi, collegati a masse praticamente puntiformi, che ruotano nei rispettivi estremi campi gravitazionali. La misurazione delle variazioni dei loro battiti mentre si muovono attraverso lo spazio-tempo fornisce preziose indicazioni sulla validità delle varie teorie della gravità. —

## BIBLIOGRAFIA

*Neutron Stars and Pulsars (Astrophysics and Space Science Library)*, by Werner Beker (Editor), 2009 Springer.

## RIFERIMENTI FOTOGRAFICI

Le immagini delle pagine 32 e 33 della Crab Nebula e della Veil Nebula sono tratte dal sito: "<http://hubblesite.org>". Per riferimenti:

News Release Number: STScI-2000-15. Peering into the Heart of the Crab Nebula <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/supernova%20remnant/2000/15/image/a/>. Credit: NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA). Acknowledgment: W. P. Blair (JHU).

News Release Number: STScI-2007-30. Uncovering the Veil Nebula. <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/supernova%20remnant/2007/30/image/d/>. Credit: NASA, ESA, and the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration. Acknowledgment: J. Hester (Arizona State University).

*Cent'anni fa Albert Einstein propose quella che oggi è nota come "Equazione di campo di Einstein", che descrive la gravità come curvatura dello spazio-tempo e che costituisce il cuore della Relatività Generale*



I "suoni" delle *pulsar* che ruotano più lentamente richiamano i battiti di un tamburo. Musicista in pausa, Scatto di Woodi Forlano.

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio di cuore Giovanni Morlino per la sua preziosa consulenza alla stesura dell'articolo. Giovanni lavora come ricercatore presso il Gran Sasso Science Institute dell'Aquila.

# Suono dell'architettura

## Architettura del suono

**Marina Gambini**

architetto



**FIN DALLA METÀ DEGLI ANNI '50** del secolo scorso, l'arte e l'architettura erano impegnate nella ricerca di nuove dimensioni espressive che, superando le immagini del "romanticismo" anteguerra e legandosi alle nuove ricerche aperte a suo tempo dal futurismo, riuscissero a vincere le vecchie maniere rappresentative per abbracciare nuovi terreni ancora inesplorati.

All'interno di questa ricerca, la "forma" è superata dal "suono" e la vista dall'udito, cosicché, sia in arte che in architettura, l'installazione sonora si è offerta da un lato come uno spazio di relazione più individuale con il suono e il tempo, dall'altro come strumento di indagine di aspetti invisibili dell'architettura della città. Nel 1954 a New York gli artisti di varie discipline si ritrovano a "ragionare" sugli Urban Sounds della città moderna.

Gli spazi del vivere dell'uomo diventano un mezzo per l'ascolto.

Le ricerche intraprese dai pionieri di quegli anni portano a decifrare che fonti sonore diverse possiedono "forma musicale" diversa e, allo stesso modo, il trasferire uno stesso suono da un am-

**CITTÀ E TERRITORIO**

Diffusore  
omnidirezionale cubo  
in legno di teak.

biente a un altro lo ridefinisce, dandogli un nuovo significato acustico (ad es. le ricerche artistiche delle *Sculture Sonore* di Bill Fontana)

“Ascolto il tuo cuore città”, scriveva Savinio sulla scia del futurismo. Ma cosa *vedo* quando *ascolto*? Il suono ha il potere di generare architetture invisibili, fuori dalla cornice, fuori dalla galleria, fuori dal mondo, fuori dal visibile, per immergersi con un'esperienza *multisensoriale* dentro al fenomeno, all'antropologia, all'arte e all'architettura come scienze e pratiche sociali. Dalla linea alla spirale, dall'unità di tempo, azione e luogo, alla simultaneità degli eventi nello spazio della mente.

Le Corbusier sottotitola la sua ricerca sul *Modulor Saggio su una misura armonica su scala umana universalmente applicabile all'architettura e alla meccanica*, prefigurando una mappa ordinata del mondo e trovando la sua espressione pratica nell'opera musicale di Iannis Xenakis. Secondo Goethe *“l'architettura è una musica pietrificata”*. Dal punto di vista del compositore di musica si potrebbe invertire la proposizione e dire che *“la musica è un'architettura mobile”*.

Nella composizione per orchestra *Les Metastasis* (1953/1954) di Xenakis, l'intervento dell'architettura è diretto e fondamentale. È la prima volta che una composizione musicale viene interamente dedotta da regole e processi matematici; lo stesso Le Corbusier ha paragonato l'invenzione del sistema di misura “armonico”, il Modulor basato sulle dimensioni dell'uomo, ai concetti musicali. Nell'opera *Les Metastasis* le regole geometrico/matematiche del Modulor hanno trovato un'applicazione nell'essenza dello sviluppo musicale, hanno creato uno stretto legame di struttura tra il tempo e i suoni. Nel lavoro di Xenakis si tocca con mano come uno strumento di *misura visuale*, se usato in maniera dinamica, possa diventare generatore di *variabili sonore*.

Le Corbusier spiegava la necessità di trovare *“una misura comune capace di ordinare le dimensioni dei contenenti e dei contenuti”* portando come esempio la scrittura del suono: si trattava di trovare un sistema di rappresentazione attra-



Diffusore omnidirezionale cilindro in bardiglio.

***Le Corbusier spiegava la necessità di trovare «una misura comune capace di ordinare le dimensioni dei contenenti e dei contenuti» portando ad esempio la scrittura del suono***

verso *“elementi afferrabili [...] traendone una serie di progressioni”* che *“costituiranno i gradini di una scala – una scala artificiale – del suono [...] secondo una regola accettabile da tutti, ma soprattutto capace di flessibilità, diversità, sfumature e ricchezza”*. L'architetto franco-svizzero rilevava dunque che *“tutto ciò che è edificato, costruito, distribuito in lunghezze, larghezze o volumi non ha beneficiato di una misura equivalente a quella di cui gode la musica – strumento di lavoro al servizio del pensiero musicale”*. Da allora, il sistema di unificazione delle misure e delle proporzioni elaborato da Le Corbusier nella ricerca dell'armonia della natura da applicare al mondo costruito si è universalmente diffuso condizionando, inevitabilmente, il pensiero architettonico, la manualistica edilizia (e non solo quella), la definizione degli standard (urbanisti-



ci, edilizi, produttivi) e razionalizzando una serie di variabili.

La ricerca e la scoperta dei "codici numerici" che governano l'armonia della natura da riprodurre nelle arti dell'uomo è da sempre un argomento di grande interesse. La "Sezione aurea" è una costante matematica, un rapporto che appare in natura ed è stato scoperto da Pitagora nel V secolo a. C. Questo rapporto proporzionale, presente sia in natura che nelle arti applicate, è stato utilizzato in arte e in architettura fin dal tempo dell'antica Grecia ed è strettamente correlato alla successione numerica di Fibonacci, come quel *numero infinito* generatore di sequenze armoniche.

L'uomo Vitruviano, antenato del Modulor, esempio di perfetta armonia delle proporzioni auree della natura, risulta inscritto all'interno della spirale derivante dallo sviluppo geometrico

della sequenza di Fibonacci, a sua volta derivata dallo sviluppo geometrico sequenziale della sezione aurea. La stessa spirale che costituisce la struttura della conchiglia del nautilus e che, nel campo della musica, ha da sempre rappresentato la base armonica di sequenze di grande suggestione e atmosfera.

Pitagora, primo fra tutti, asseriva che "*la geometria delle forme è musica solidificata*", il suono può generare "*forme soniche e strutturare la materia*". La materia è una forma sonica solidificata; queste forme soniche e geometriche sono visualizzate in molti esperimenti atti a dimostrarne la possibilità e le applicazioni (scienza denominata *cimatica*, dal greco "studio riguardante le onde").

Le forme sono armoniche o disarmoniche a seconda della frequenza sonora emessa: quindi, il suono struttura la materia. Le forme che si ge-

Diffusore  
omnidirezionale cubo  
in bardiglio.



*I legami tra musica e architettura sono molto stretti, anzi esse sono diverse istanze dell'unica modalità espressiva dell'uomo nel suo confronto con il mondo, diverse componenti di un unico sguardo di interesse per la conoscenza. Non solo arte e tecnica, ma anche etica ed emozione, in uno stesso atteggiamento unificante della conoscenza*

nerano ricordano dei mandala come, ad esempio, nei cristalli di neve.

Percezione sonora e percezione spaziale possono fondersi.

I legami tra musica e architettura sono molto stretti, anzi esse sono diverse istanze dell'unica modalità espressiva dell'uomo nel suo confronto con il mondo, diverse componenti di un unico sguardo di interesse per la conoscenza. Non solo arte e tecnica, ma anche etica ed emozione, in uno stesso atteggiamento unificante della conoscenza.

Musica e architettura sono due forme di comunicazione che hanno tanto in comune.

In musica si parla di armonia, di equilibrio, di proporzione, di ritmo; tutte espressioni che ritroviamo anche in campo architettonico.

Il connubio tra architettura e musica si è andato sempre più integrando, in quanto l'architettura deve trovare forme per comunicare cercando di coinvolgere tutti gli ambiti sensoriali dell'individuo.

La musica, quindi, interessando le facoltà uditive, può coinvolgere l'individuo e introdurlo in dimensioni sempre nuove, in quanto la musica è ritmo, è tempo.

Noi associamo il movimento alla predominanza della facoltà visiva, ma possiamo pensare di dare maggiore valenza alla facoltà uditiva.

*"È con l'udito che possiamo facilmente concepire il cambiamento senza che nulla stia cambiando: ascoltando una melodia abbiamo, infatti, la chiara percezione del movimento, senza che qualcosa si muova, o del cambiamento, senza che qualcosa cambi. Perché ci sia movimento, non necessariamente ci deve essere qualcosa che si muova..."* (Henri Bergson).

Attraverso la sensazione uditiva, che segue il movimento della melodia, possiamo immaginare



spazi in continua formazione. In questo senso la melodia è, essa stessa, cambiamento; esiste nel tempo e si modifica nel corso di questo. Possiamo entrare in una dimensione diversa che coinvolga altri sensi. La melodia, secondo queste teorie, è insieme di frammenti, toni tutti legati tra loro o frammenti di spazio sequenziali inscindibili. Diventa momento essenziale per la generazione di nuovi spazi, attraverso il coinvolgimento di altre sensazioni. La forma è un elemento che la mente crea in aggiunta agli elementi della sensazione: tra le diverse sensazioni che la melodia produce, essa è capace di creare anche forme nella nostra mente.

Diffusore direzionale  
sospeso drop in  
materiale composito.



La generazione di nuovi spazi, di nuove dimensioni, si realizza, allora, se vengono coinvolti altri sensi. Non si è più legati alla sola percezione visiva, ma anche a quella tattile e soprattutto acustica. Tutto l'essere ne è coinvolto. Così si arriva alla forma del suono.

L'architettura, nella sua drammatica necessità di comunicare, si rivolge a tutti i nostri sensi, interagisce con essi e, attraverso essi, vengono a formarsi e disfarsi sempre nuovi spazi. Un'esperienza dell'interazione tra suono e forma è condotta dallo studio di architettura/design **DECOI**. Questi realizza una sorta di contenitore la cui forma cambia in funzione del suono che le per-

*L'architettura, nella sua drammatica necessità di comunicare, si rivolge a tutti i nostri sensi, interagisce con essi e, attraverso essi, vengono a formarsi e disfarsi sempre nuovi spazi*

sone emettono attraversandolo. L'intensità del suono modella una superficie elastica. Il progetto si chiama "*Paramorph*": è un corpo che cambia forma pur mantenendo le sue caratteristiche fondamentali (Londra, 1999). Tutto questo si realizza traendo le sue leggi applicative dalla scienza della cimitica.

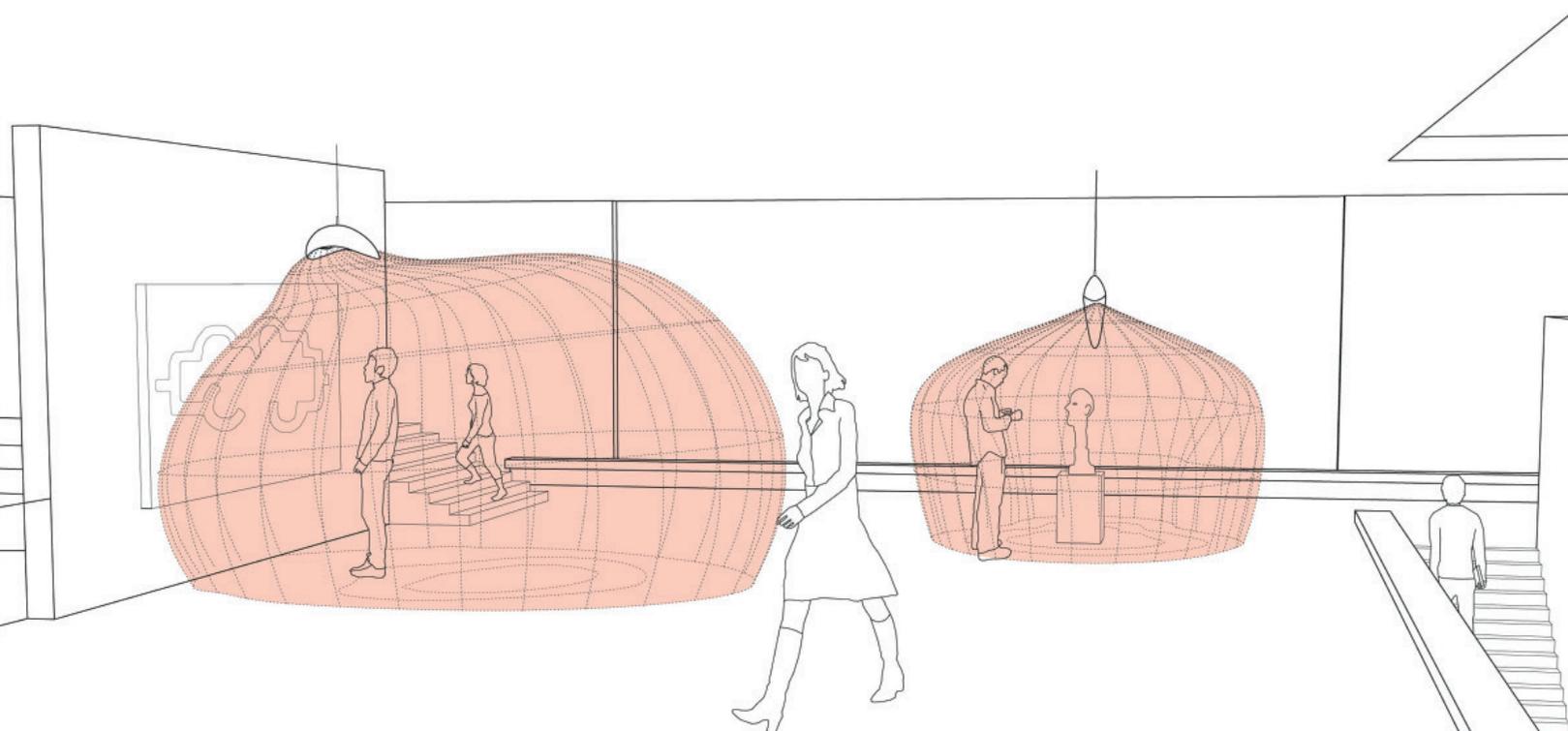
Molte ricerche portano a studiare teorie del movimento e modificazioni dello spazio in funzione della modificazione del tempo: questo, in quanto dimensione primaria dello spazio, può modulare e creare continuamente spazi nuovi e diversi. La percezione della mutevolezza del tempo, la possiamo avere nell'ascolto della musica. La musica è ritmo, quindi tempo "lento, andante, presto...". Se il tempo è dimensione dello spazio, anche questo tempo musicale può generare spazi nuovi e mutevoli.

In questo senso anche un *open-space*, un giardino (pubblico o privato che sia), legato alle moderne forme del vivere e dell'abitare, inteso come "zona filtro", come una natura costruita attorno allo spazio di vita dell'uomo, sia esso città o casa, può assumere valenze molto importanti e aspetti e "forme" nuove nel suo esistere.

All'interno di questi nuovi significati si pone la ricerca di Architettura Sonora, un'azienda situata alle porte di Firenze che già nel 2011 ha avuto modo di essere protagonista di un redazionale uscito nel 1° numero dello stesso anno di "Progettando Ing", con l'intervista rilasciata dall'allora Project Manager, Lorenzo Brusci, a Lio Fitti.



Diffusore direzionale sospeso helmet in materiale composito.



Schema di emissione direzionale.

All'interno del panorama progettuale dell'azienda, partendo dall'articolo precedente, ora vogliamo puntare l'attenzione sul progresso attuato dall'azienda nella ricerca del rapporto suono/architettura e come questo ha trovato espressione applicata nei nuovi progetti realizzati, soprattutto nell'ambito del *landscape design* e del *giardino sonoro*.

Nella ricerca tecnologica/architettonica di Architettura Sonora, il giardino viene inteso come strumento del suono. Il giardino sonoro, nella città moderna, testimonia l'esigenza profonda, la necessità urgente dell'uomo contemporaneo di riappropriarsi degli spazi aperti e, ancor più, di quelli pubblici che ancora le metropoli offrono. Ritagli sparsi presenti nel tessuto delle città che possono diventare momenti di coinvolgimento soggettivo, rivelazione di socialità inespresse, scoperta di impensati spazi aperti a tutte le scale, pretesti immaginifici dell'incontro. Luoghi pubblici del futuro, aperti nell'abbattere la logica del rumore diffuso presente nelle nostre città per ridare forma al suono progettato attraverso la cultura del verde.

Il giardino sonoro urbano, nella sua miscela sorprendente di sonorità guidate e *texture* vegetali, rigorosamente *site-specific*, può essere un

prototipo convincente per ogni amministrazione che sia attenta alle trasformazioni contemporanee dell'uso dello spazio pubblico. Dove il suono guida il progetto di paesaggio nella metropoli di oggi e domani.

L'idea del giardino sonoro è nata dall'esigenza di ricreare un rapporto fisico tra le persone e il mondo vegetale, con l'ausilio di oggetti sonori che nel paesaggio immergono le persone, gli esseri viventi, in uno spazio bucolico, sino a costruire innovative modalità esperienziali capaci di mostrare nuovamente la natura ai suoi abitanti. È la ricerca di un equilibrio dinamico, basato sull'interazione attiva e ludica dei cittadini con un mondo vegetale cangiante, in continua metamorfosi, dove vengono risvegliate le capacità di ascolto, gioco, relax, vissute come un momento creativo, che gli strumenti del giardino sonoro esaltano,

***L'idea del giardino sonoro è nata dall'esigenza di ricreare un rapporto fisico tra le persone e il mondo vegetale, con l'ausilio di oggetti sonori che nel paesaggio immergono le persone, gli esseri viventi, in uno spazio bucolico***



propongono, sviluppano, sino a trasformare l'area vegetale progettata in un evento sociale, in un momento di condivisione per ogni persona di età e geografia differenti.

*Immersività multisensoriale* è il baricentro progettuale, il "criterio esperienziale" che guida la progettazione sonoro-spaziale del team di AS<sup>TM</sup>: parchi urbani e giardini, piazze pubbliche,

***Combinando i differenti moduli sonori e le loro differenti proprietà direzionali è possibile riprogettare completamente l'esperienza acustica di ogni spazio architettonico***

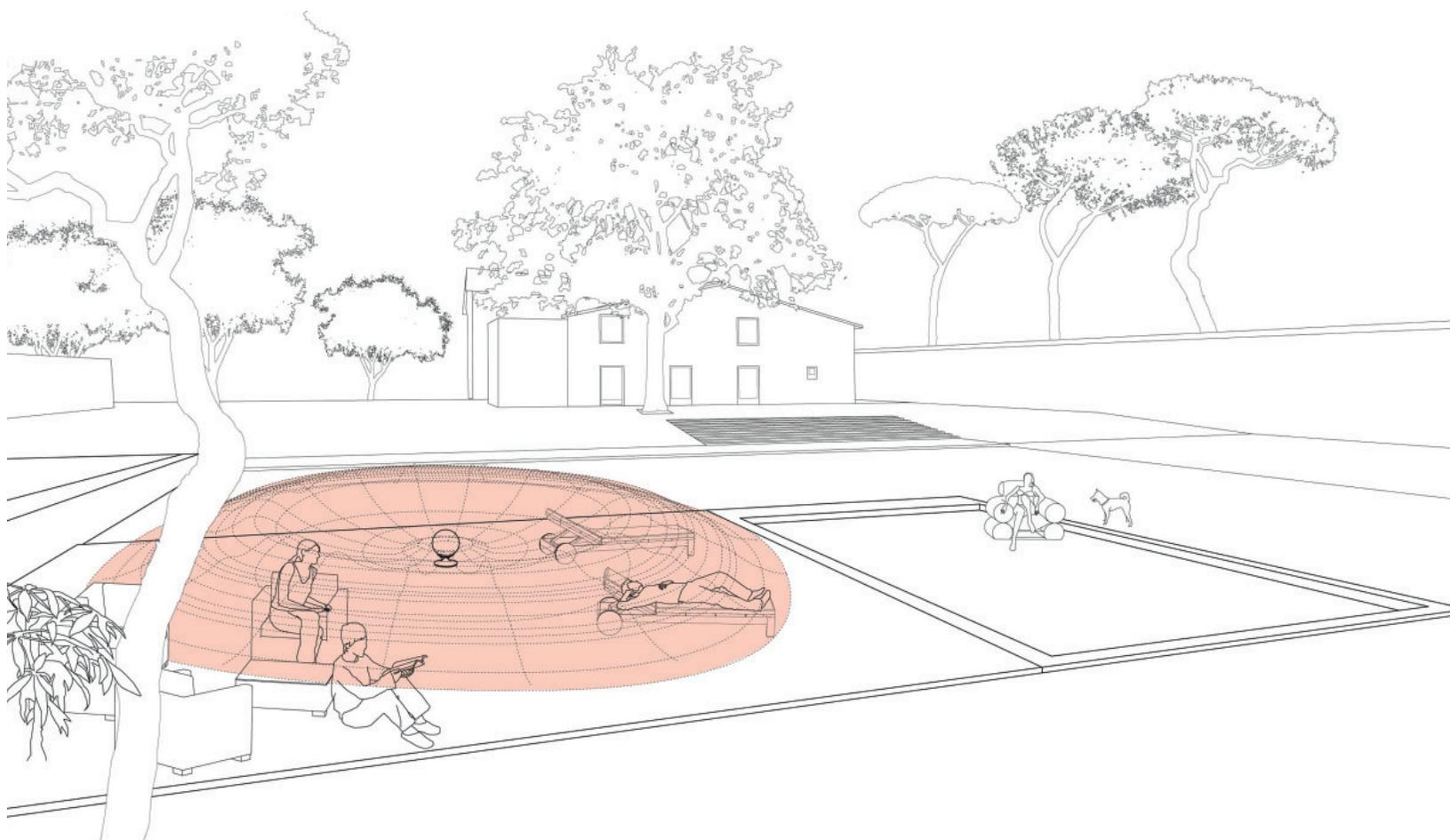
stazioni ferroviarie così come aeroporti, ospedali, uffici, spazi aperti, negozi, centri commerciali, hotel e ristoranti, aree lounge e centri benessere, aree residenziali e architetture private possono diventare altamente efficienti sul piano acustico trasformandosi in vere e proprie archi-

tetture sonore al di là dei soliti archetipi che fino ad oggi hanno disegnato lo "spazio costruito" attorno all'uomo.

Gli oggetti disegnati e prodotti da AS<sup>TM</sup> sono molto più che oggetti di raffinato design con prestazioni di altissimo livello tecnico sia per l'interno che per l'esterno: sono in grado di rielaborare e trasfigurare lo spazio architettonico in una straordinaria esperienza sonora, trasformando il suono in un mezzo per migliorare la qualità dello spazio e della vita in generale.

Emettitori sonori dalle forme non convenzionali, la forma peculiare dei moduli sonori e architettonici di AS<sup>TM</sup> è concepita per essere al contempo acusticamente efficiente e capace di focalizzare/direzionare il suono in aree delimitate. Combinando i differenti moduli sonori e le loro differenti proprietà direzionali è possibile riprogettare completamente l'esperienza acustica di ogni spazio architettonico per disegnare con il suono diffuso sia nuovi ambienti chiusi che nuovi *open space*.

Schema di emissione omnidirezionale.



Lo slogan dell'azienda che sintetizza bene il loro concept è *"High-performing audio solutions and design-driven innovation, inspired by Nature"*: "Soluzioni audio", perché quello che offrono sono "soluzioni" da adattare ad ogni contesto, di "alte prestazioni", perché il background tecnologico che supporta Architettura Sonora nasce dai 70 anni di storia di B&C Speakers s.p.a. quale leader mondiale nel campo acustico professionale nella produzione di "trasduttori elettroacustici"; e *"design-driven innovation"*, perché il sistema audio usato è "innovativo" senza negare il fatto che i prodotti poi costituiscono anche oggetti di puro design raffinato, nel senso che cambiano le regole di approccio al mercato innovando radicalmente il significato delle cose; "ispirati dalla Natura", nel senso di *matericità* e adattabilità dei moduli sonori AS nel contesto ambientale e architettonico dentro al quale si inseriscono in perfetto dialogo, mai in contrasto.

Un elemento chiave che rende questi moduli sonori unici, è senza dubbio il materiale utilizzato. Il motivo principale per cui viene usato materiale naturale è principalmente quello di stabilire una connessione con il paesaggio e l'architettura in cui essi si inseriscono, in modo che i moduli sonori diventino parte integrante in armonia totale con il contesto. Ogni modulo sonoro può essere definito "un pezzo speciale e inimitabile di *Sound Art*" e ciò è reso possibile grazie alla combinazione di forme con l'alta qualità dei materiali, dal forte legame forma-funzione. Ad esempio, nel caso di moduli realizzati in marmo, il materiale di ognuno di essi viene estratto direttamente dalle cave della Toscana rendendo ogni pezzo unico nel suo genere.

*Ogni modulo sonoro può essere definito "un pezzo speciale ed inimitabile di Sound Art" e ciò è reso possibile grazie alla combinazione di forme con l'alta qualità dei materiali.*

Diffusore  
omnidirezionale sfera  
in terracotta 470.

La *matericità* contribuisce anche al sound tipico dei vari moduli: i materiali non sono stati scelti per uno scopo architettonico ed estetico, ma inoltre sono stati tutti testati per garantire ottimi risultati anche in termini di acustica. Così si è scoperto che la terracotta, il marmo, il granito, ecc., sono degli ottimi veicoli del suono, ognuno col suo sound particolare, qualcuno con sonorità più calde, qualcun altro con sonorità più chiare.

I materiali utilizzati poi sono caratterizzati da qualità estetiche e anche tattili, che raramente (per non dire mai) sono state associate prima agli speaker e, in generale, al design delle casse acustiche.





Anche il materiale utilizzato per i moduli sospesi è assolutamente innovativo: dalla fibra di carbonio, a materiale composito aerodinamico.

Inoltre, è stato ampiamente testato che tutti i materiali impiegati garantiscono la massima resistenza, durata e ottima diffusione sonora anche per un utilizzo in outdoor.

Una particolarità nella scelta dei materiali è data dal fatto che viene impiegato tutto materiale locale, *toscano*, dalle terrecotte dell'Impruneta ai marmi di Carrara, ecc., per dire che la *matericità* dei vari elementi racconta qualcosa del posto in cui essi nascono, apportando, quindi, un ulteriore livello all'"esperienza" del paesaggio stesso.

Le forme che vengono date ai moduli sonori non definiscono solamente degli oggetti di vero design, ma rispondono a determinati criteri acustici. A ogni forma corrisponde un tipo di emissione specifica, un "comportamento acustico" differente. La forma di ogni modulo è il risultato di un "dialogo" tra caratteristiche fisiche del suono e l'estetica del design. Sarebbe come dire "sculpture il suono dalla tecnologia".

Per questo a una forma circolare, combinata al deflettore (posizionato in basso per la propagazione uniforme del suono) come quella del modello "Sphere", corrisponderà un'emissione acustica "omnidirezionale" (quindi uniforme in tutte le sue parti). Al contrario, i moduli con una forma "a goccia" (come "Drop" e "Small Drop") creeranno dei corridoi sonori, così come i vari moduli sospesi avranno una diffusione più localizzata, detta "direzionale" (a fasci conici).

Queste "orchestrazioni", intese come la capacità di diffusione multicanale indipendente

combinata alle capacità tecniche di ogni modulo sonoro (che ha in sé la possibilità di diffondere il suono in maniera differente), permettono di originare un effetto totalmente dinamico del suono, a differenza della classica diffusione stereo che rimane sempre uguale e che costringe a una fruizione statica (legata all'angolo di diffusione del suono, come avviene nelle classiche casse acustiche). A questo tipo di diffusione, che può essere definito "immersivo e multi-centrico dell'ascolto dello spazio architeturale", si aggiungono poi le caratteristiche intrinseche dei moduli sonori. Difatti, combinando moduli direzionali (come ad esempio quasi tutti i sospesi) con moduli omnidirezionali ("Sphere", "Cube", "Cylinder"), l'effetto che si crea è quello di un vero e proprio *Soundscape*: un suono che si diffonde nello spazio in maniera del tutto naturale, dinamica ma anche con effetti "sorprendenti" (come quando si appropria un modulo direzionale nell'angolatura specifica di diffusione). Quindi, nello spazio architettonico disegnato dal suono di questi moduli è possibile muoversi e godere delle variazioni e delle differenti sensazioni acustiche che arrivano di zona in zona, rendendo lo spazio dinamico e mutevole così come lo sono i sentimenti umani e i sogni. Ad esempio, combinando i moduli e le loro diffusioni, si possono anche creare dei percorsi e veicolare l'attenzione dell'utente rafforzando l'intento del progetto architettonico di qualsiasi ambiente.

Tuttavia, ogni modulo sonoro (essendo indipendente) ha in sé tutte le caratteristiche delle casse acustiche, per cui nulla vieta di farne suonare anche uno solo con la classica "diffusione stereo". Naturalmente in quel caso è più consigliabile usare un *fullrange* (che copre una gamma più estesa di frequenze, dai suoni bassi ai più acuti, con un range di 38-20.000 Hz) piuttosto che un *subwoofer* (dove i suoni bassi vengono esaltati rispetto agli altri, con un range da 38-150 Hz), per limitare la perdita dinamica e immersiva della diffusione del suono. In ogni caso, combinando ad esempio una "Sfera" con caratteristiche *fullrange*, con un *subwoofer* (quale lo "Shark", appeso), si ottiene già un sistema acustico "completo".

*A ogni forma corrisponde un tipo di emissione specifica. La forma di ogni modulo è il risultato di un "dialogo" tra caratteristiche fisiche del suono e l'estetica del design. Sarebbe come dire "sculpture il suono dalla tecnologia"*

Passeggiando all'interno di un giardino sonoro, come può essere il laboratorio dell'azienda al Castello del Bisarno, si può sperimentare il vero significato del senso di "immersività e coinvolgimento". La diffusione del suono immerge il visitatore in una sorta di "utero" protetto dove il "confort acustico" è reso possibile dagli effetti psicoacustici che l'esperienza ricrea. Questo è dovuto sia all'emissione di suoni naturali appositamente diffusi dai vari moduli per ricreare le suggestioni che da sempre nel disegno dell'architettura del paesaggio hanno rivestito un ruolo di primaria importanza per segnare il nesso inescindibile fra natura e costruito (fruscii di foglie, canto di uccelli, rivoli d'acqua o zampillare ritmico di fontane), che nel caso di diverse esecuzioni musicali.

All'interno della città spesso è difficile individuare sistemi di mitigazione adeguati e architettonicamente armonici contro il disturbo proveniente dal caos urbano. Nel giardino sonoro, invece, il mondo oltre il recinto, con le sue *sorgenti disturbanti* che si muovono, si dissolve allontanato dai suoni che accompagnano il visitatore nella sua esperienza con momenti di abbandono in un'oasi di pace. Chiudendo gli occhi e lasciandosi trasportare dalle emozioni multi-sensoriali stimulate solo dall'ascolto del suono, la mente riesce a ricreare immagini evocative per dare forma architettonica individuale al luogo in cui si trova, creando vere e proprie dimensioni di benessere, piacere e qualità del vivere.

Percezione sonora e percezione spaziale davvero si fondono. —

Diffusore  
omnidirezionale sfera  
in marmo verde 360.





# Logos E phonè, pensiero e voce: l'ESSENZA del teatro classico

**Da sempre il teatro ha costituito un punto di riferimento fondamentale per le rappresentazioni sceniche e la musica ne è stata parte integrante**

**Cristina Minucci**

docente di Lettere italiane e latine

CONTEMPORANEA

---

**LOGOS E PHONÈ**, il pensiero e il suono, sono due termini inscindibili nella cultura classica. La maggior parte delle manifestazioni culturali dell'antichità sono state accompagnate dal suono. Il concetto stesso di armonia, ben sintetizzato nella celeberrima definizione dell'arte neoclassica di J. Winckelmann – un ideale di nobile semplicità e quieta grandezza – è intrinsecamente legato alla musica. I poemi omerici e più in generale l'epica classica nascono in Grecia con racconti orali, accompagnati da strumenti musicali e trasmessi di generazione in generazione dagli aedi che raccontavano vicende straordinarie di divinità ed eroi. La narrazione dell'epos si

adatta perfettamente alla musica e utilizza una struttura metrica come l'esametro con formule lessicali spesso ripetute che cadenzano, attraverso una tecnica ritmica, il racconto. Più tardi, nel VII-VI sec., si afferma la lirica, genere caratterizzato dall'accompagnamento di strumenti a corda (citarodia) o a fiato (auletica), che getterà le basi per le moderne forme letterarie di introspezione psicologica. Forse però nessun genere della classicità più del teatro ha valorizzato tutte le potenzialità del suono per rappresentare sulla scena un dramma. Le tragedie e le commedie, rappresentate in Grecia durante le feste dedicate al dio Dioniso, sono l'espressione più significativa del connubio tra ascolto e visione. La parola stessa – teatro – derivante dal greco *theaomai* (osservare, essere spettatore) mette in evidenza una fruizione che nasce dall'atto del guardare, ma che comprende tutti i sensi. Ciò determina come conseguenza fondamentale che gli spettatori recepiscono il testo secondo il proprio gusto dando una loro interpretazione del messaggio proposto. D'altra parte, anche nel caso in cui la messinscena rispetti le indicazioni del drammaturgo (ossia la suddivisione del testo in un certo numero di atti e di scene, le didascalie, le battute dei monologhi e dei dialoghi) il recitativo non può mai coincidere con la realizzazione esatta della volontà dell'autore perché vi sono componenti come la gestualità, la voce e l'aspetto fisico

degli attori che caratterizzano in modo autonomo e originale ogni rappresentazione. Umberto Eco più di ogni altro ha spiegato questa particolare alchimia del testo teatrale, opera per antonomasia soggetta a una serie infinita di letture possibili. Gli spettatori antichi vedevano sulla scena individui che recitavano indossando una maschera sul volto che aveva la funzione di amplificare il suono e di occultare l'identità reale dell'attore, trasfigurandolo in un ruolo definito, e coreuti che intonavano canti a più voci nell'orchestra. Le parti musicali nella tragedia e nella commedia antica, ovvero il canto d'ingresso del coro (parodo), gli stasimi (canti corali tra un episodio e l'altro) e gli interventi lirici dei singoli personaggi, non si caratterizzavano come momenti accessori del canovaccio, ma facevano da contrappunto all'azione e davano voce al pensiero dell'autore o del popolo. Euripide, addirittura, nelle sue ultime tragedie, dedicò uno spazio privilegiato alla musica arrivando a elaborare testi simili ai melodrammi con una presenza notevole di arie e duetti. Il coro tragico, in particolare, rappresentava un sentire comune e faceva da intermediario tra spettatori e attori, quasi un mezzo attraverso il quale il pubblico poteva intervenire nell'azione scenica. Il coinvolgimento del pubblico in azioni drammatiche basate sul conflitto dei sentimenti e il contrasto tra gli individui, si traduceva nella cosiddetta *catarsi* ovvero, come sottolinea Aristot-

Nella pagina a fianco:  
Il teatro di Epidauro,  
Grecia.

L'attrice Cristina  
Minucci.

## CHI È

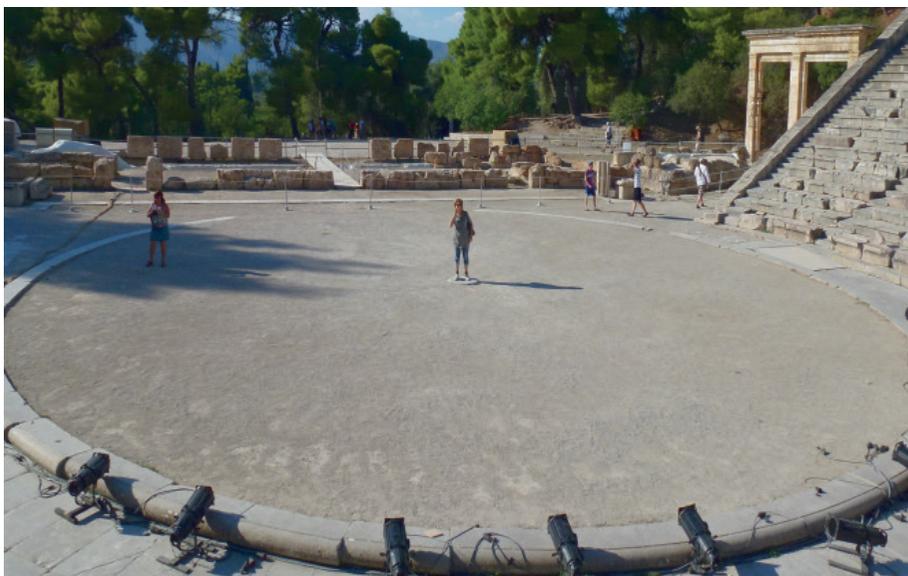
**CRISTINA MINUCCI**, laureata in Lettere classiche, insegna in un liceo fiorentino. È fermamente convinta della necessaria complementarità tra discipline umanistiche e scientifiche soprattutto nella società attuale. Da alcuni anni si occupa anche di sicurezza come ASPP nella scuola in cui lavora.



*Il coro tragico rappresentava un sentire comune e faceva da intermediario tra spettatori e attori, quasi un mezzo attraverso il quale il pubblico poteva intervenire nell'azione scenica*

tele nella *Poetica*, nella purificazione delle passioni individuali. Lo spettatore, anziché vivere in prima persona eventi dolorosi o emotivamente forti, come fatti di sangue, li vedeva rappresentati sulla scena e ne prendeva consapevolezza giungendo a comprenderli come infrazioni alle leggi naturali e divine. La tragedia quindi, proponendo un conflitto drammatico tra le grandi questioni che determinano la vita collettiva come il destino, la libertà, il potere e la giustizia, grazie alla condensazione della tessitura narrativa, raggiungeva il massimo impatto sul pubblico e tutto lo spettacolo, mimesi della realtà, assumeva in questa prospettiva un significato altamente educativo, guidando lo spettatore a interrogarsi sul senso dell'esistenza umana e sul ruolo delle divinità. In tale contesto è facilmente comprensibile l'importanza che assunse per i Greci la topografia dello spazio scenico, al fine di favorire al meglio la fruizione della rappresentazione. Molti studiosi di archeologia hanno cercato a lungo di scopri-

La cavea del teatro di Epidauro.



re tutti i segreti delle antiche costruzioni teatrali di epoca classica per comprendere tutti i segreti di un'acustica perfetta che consentiva agli spettatori del tempo di assistere, in modo efficace e soprattutto attivo, alla complessità della messinscena, facendo giungere la voce ai ripiani più alti e amplificando ogni emissione sonora. D'altronde furono proprio i greci i primi a studiare i fenomeni sonori. Pitagora – ripreso anche da Dante nel *Paradiso* – arrivò addirittura a elaborare una dottrina mistica interpretando le proporzioni dei movimenti dei corpi celesti – sole, luna e pianeti – come una sorta di musica, non udibile, espressa sotto forma di concetto armonico. Vitruvio, autore latino di epoca augustea, nel quinto libro del *De architectura* dedica molto spazio ai teatri greci e in particolare afferma che la scelta del luogo è fondamentale prerequisito per la costruzione di un teatro che garantisca un'ottimale rappresentazione scenica:

***De architectura, Libro V:***

*– Bisogna anche diligentemente osservare che il luogo non sia sordo, e che la voce, al contrario, vi si propaghi quanto meglio possibile; questo scopo si raggiungerà se si scelga un luogo sonoro di natura sua. Giacché la voce è fiato d'aria che si muove, sensibile all'udito per urto. Essa si propaga per infiniti anelli concentrici, come quando nell'acqua ferma, gettata una pietra, nascono innumerevoli anelli che si ingrandiscono continuamente dal centro finché possibile, se la ristrettezza del luogo o qualche altro ostacolo non impedisca che quelle piccole onde si estinguano naturalmente. Pertanto, quando siano fermate da qualche corpo, accade che le onde più lontane tornando indietro disturbino e sconvolgano i contorni delle seguenti. Col medesimo principio la voce si muove in circoli o sfere concentriche; infatti, mentre nell'acqua gli anelli nascono l'un dall'altro orizzontalmente, la voce progredisce in larghezza, ma sale anche contemporaneamente e gradatamente in altezza. Pertanto, come nei circoli dell'acqua, così per la voce, se nessun corpo urti e impedisca la prima onda, questa non disturberà la seconda e le seguenti, e tutte, senza echi o disturbi di risonanza, giungeranno agli orecchi degli spettatori bassi e alti. Perciò gli antichi architetti, tenendo presenti le naturali proprietà della propagazione della voce, perfezionarono, sulla base di un regolare calcolo matematico e musicale, che qualunque voce si pronunziasse sulla scena, arrivasse più chiara e soave agli orecchi degli spettatori. E così,*

come gli organi, costruiti in lamine bronzee o di corno, sono perfezionati fino alla chiarezza degli strumenti a corda, così gli antichi costituirono una teoria armonica della costruzione dei teatri onde accrescere gli effetti di voce. Pertanto, se nella scelta dei luoghi vi sarà prudente attenzione, l'effetto della voce nei teatri risulterà migliore e meglio utilizzato. E i disegni delle piante si riconosceranno da questo particolare: che i teatri disegnati su quadrati sono secondo l'uso greco; i latini su triangoli equilateri. E chi seguirà queste prescrizioni costruirà teatri perfetti.

Il teatro più interessante, che può essere considerato un modello di perfezione architettonica ed estetica per l'epoca, è sicuramente quello di Epidauro, edificato nel 350 a.C. dall'architetto Policleto il Giovane. Come tutti i teatri antichi è costituito di tre parti: l'orchestra (da *orchoumai* – danzare), spianata circolare dove si svolgeva l'azione, la *skènè*, prima semplice parete scenica dietro alla quale si cambiavano gli attori e poi, con il passare del tempo, vero e proprio edificio stretto e lungo a un piano dove venivano conservati attrezzi, costumi e maschere, e infine il *koilon* o *cavea*, termine che definisce lo spazio riservato al pubblico. Il teatro ha una capienza di 13.000 posti a sedere divisi in due sezioni: una più bassa con 34 file sovrastata da una parte più alta, di epoca più tarda, con 21 file intervallate da un passaggio di servizio (il *diazoma*). Ancora oggi, percorrendo le gradinate su cui sedevano gli spettatori di un tempo si ha l'impressione che il tempo si sia fermato e siamo catturati dalla straordinaria perfezione architettonica di questo emiciclo di spazi concentrici che si innalzano uno sull'altro, ma soprattutto dalla notevole peculiarità della propagazione dei suoni. La qualità acustica di un ambiente dipende essenzialmente dalla sua geometria, dal tipo di materiali presenti, dalla loro disposizione rispetto alla sorgente sonora e agli ascoltatori e dalla riverberazione del suono. Nel caso del teatro di Epidauro l'inclinazione naturale del terreno, l'altezza della cavea identica al diametro dell'orchestra, la regolare distanza tra le gradinate e infine i materiali usati come la pietra locale e pietra calcarea rossa, permettono una propagazione delle onde sonore non smorzata e non contaminata da fenomeni acustici indesiderati concomitanti.



Nel 2007 due ricercatori del Georgia Institute of Technology, Nico Declercq e Cindy Dekeiser, hanno voluto approfondire la questione studiando le proprietà del campo sonoro responsabile della percezione acustica nel teatro. Essi hanno focalizzato la loro attenzione sul comportamento diffrattivo (la diffrazione di un'onda è il cambio di direzione nell'avanzamento) delle singole gra-

Suonatore di tuba.  
Scatto di Woodi  
Forlano.

*Ancora oggi, percorrendo le gradinate su cui sedevano gli spettatori di un tempo si ha l'impressione che il tempo si sia fermato e siamo catturati dalla straordinaria perfezione architettonica di questo emiciclo di spazi concentrici*



Pathos bulgaro.  
Scatto di Woodi Forlano.

dinate semicircolari. Gli spettatori, oltre a percepire i suoni provenienti dal proscenio e quelli riflessi dal fondale posteriore, intercettano anche la diffrazione multipla di tutte le gradinate che si trovano alle loro spalle, le quali agiscono in pratica da retro-riflettori, tagliando le frequenze basse che disturbano l'ascolto. Durante la rappresentazione il pubblico si trova così avvolto da un suono che arricchisce le immagini degli attori connotandole di un valore espressivo aggiunto tutto particolare che valorizza i significati della rappresentazione. Altri elementi non trascurabili ai fini dell'acustica sono sicuramente la si-

lenziosità dell'ambiente circostante e la brezza che soffia dall'orchestra verso gli spettatori. Tali caratteristiche si ritrovano spesso nei teatri classici della Magna Grecia, costruzioni che si ergono in un paesaggio da sogno e baciato da venti marini. Il teatro di Taormina, che sorge a 214 metri su una delle acropoli della cittadina, è forse uno dei complessi monumentali di maggiore rilevanza paesaggistica e più descritti dalla letteratura e dall'iconografia. L'edificio si presenta come una piccola bomboniera parzialmente incastonata nella roccia; all'inizio del II sec. d.C. i Romani lo ristrutturarono secondo il loro stile, ricavando l'ingresso da uno scavo nel pendio e arricchendo la sommità delle gradinate di un doppio portico coperto. Altra città interessante per la ricchezza dei reperti archeologici di rilevanza acustica è Siracusa. In epoca greca il sito doveva costituire un vero e proprio paesaggio sonoro. Le Latomie, spettacolari prigioni che detenevano i nemici catturati dai Siracusani (in gran numero dal 414 al 413 a.C., come attesta lo stesso Tucidide nelle sue Storie), presentano una morfologia con alte pareti

*Altri elementi non trascurabili ai fini dell'acustica sono sicuramente la silenziosità dell'ambiente circostante e la brezza che soffia dall'orchestra verso gli spettatori. Tali caratteristiche si ritrovano spesso nei teatri classici della Magna Grecia*

rocciose che ancora oggi propagano tante sonorità e amplificano le voci dei numerosi turisti. È facile in questi luoghi immaginarsi le urla e i lamenti degli individui in cattività, evocando i versi danteschi del III canto dell'*Inferno* "Diverse lingue, orribili favelle, parole di dolore, accenti d'ira...". La parte più interessante del complesso archeologico – vero gioiello acustico – è l'Orecchio di Dionisio, grotta a sesto acuto situata nella Latomia del Paradiso che presenta una tipica conformazione di padiglione auricolare. Il pittore Caravaggio, impressionato dall'eco sensibile, denominò in questo modo il sito rifacendosi alla leggenda secondo la quale il tiranno Dionisio avrebbe ascoltato dalla parte superiore della latomia le grida dei prigionieri. La grotta, in parte concava e in parte convessa, possiede caratteristiche acustiche tali da amplificare i suoni fino a 16 volte e alcuni storici greci ritenevano che tutto il luogo fungesse da cassa di risonanza per produrre effetti sonori durante le rappresentazioni nel vicino teatro greco. Quest'ultimo presenta molte delle caratteristiche degli edifici precedentemente citati. La collocazione a ridosso di un pendio naturale e la

pendenza delle gradinate, anche in questa costruzione dal carattere imponente, favorisce l'assenza di riverberazione, punto di partenza per un'acustica perfetta. Da sempre il teatro ha costituito un punto di riferimento fondamentale per le rappresentazioni sceniche: Eschilo vi rappresentò per la prima volta le *Etnee*, scritte in onore del tiranno Ierone I dopo la fondazione della città di Etna nel 476 a.C., e, poi ancora, sempre per la prima volta, *I Persiani*. Oggi, nelle calde notti stellate di maggio, frotte di spettatori sedotti dall'atmosfera del luogo, assistono in religioso silenzio alla messa in scena, a cura dell'Istituto Nazionale del Dramma Antico, di tragedie e commedie greche riuscendo a percepire, come i loro antenati, pur amplificate da microfoni, tutte le sfumature vocali degli attori. Seduti tra la gente assiepata sulle gradinate è possibile rivivere le emozioni di coloro che ci hanno preceduti ed essere profondamente coinvolti dalle rappresentazioni: un tuffo all'indietro nel tempo che ci invita, in una società "liquida" e ipertecnologica come la nostra, a riflettere su noi stessi nella convinzione che gli antichi hanno ancora molto da insegnare. —



Different singing, festa di S. Cayetano, Lavapiés, Madrid. Scatto di Woodi Forlano.

TRAMETES  
FOR  
JOHN CAGE

DANIELE LOBBARDI

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

CLUSTERS

THE PIANIST  
PLAYS THE 11  
FRAGMENTS AND THE  
BLACK PICTURE IN ANY  
ORDER.  
TIME  
AND  
DYNAMICS  
FREE

CLUSTERS

John Cage

CONTEMPORANEA

# TRAMETES

## Omaggio a John Cage nel centenario della nascita

di **Daniele Lombardi**

pianista, compositore, artista visivo

**IN UN'INTERVISTA** dal titolo *Il significato del respiro* che Francesco Bonami fece a John Cage, apparsa in *Flash Art* (Milano 1991, n.163), alla domanda "Va sempre in cerca di funghi?" Cage rispose:

**Quando capita. Recentemente alcuni incidenti me lo hanno impedito. Quasi ogni volta che vado per funghi cado o scivolo, sono ormai come un veterano di guerra.**

Alla domanda successiva, "Che relazione c'è tra i funghi e il suono?", Cage specificava:

**Una volta ho fatto notare che nel dizionario inglese la parola "musica" (music) è preceduta dalla parola "fungo" (mushroom). Inoltre i funghi hanno una durata limitata, così come un suono, ammesso che non sia un antifurto.**

Tre anni fa mi fu chiesto di fare un omaggio a Cage nel centenario della nascita e pensai subito al suo amore per i funghi, argomento che conosceva così bene da rispondere alle domande di Mike Bongiorno e vincere nel 1958 il premio di 5 milioni a *Lascia o Raddoppia*.

Ho così realizzato questa opera dal titolo *Trametes*, composizione che può avere un'esecuzione pianistica, ispirandomi a questo tipo di funghi non commestibili, generalmente bianchi, con corpo fruttifero e pileato, sessile, con pori grandi e piccoli. Ce ne sono di vario tipo: *Trametes gibbosa*, *hirsuta*, *pini*, *pubescens* e *versicolor*.

L'immagine al centro della mia opera è una struttura che ricorda la sovrapposizione a lame di questo fungo e indica al pianista un comportamento che può essere agito con una serie di clusters che si sovrappongono uno sull'altro. Intorno a questa massa centrale vi sono frammenti sparsi di pentagrammi con note a volte suonate in modo regolare, altre volte muted o pizzicate, secondo una modalità che spesso Cage ha adottato in tante composizioni: basti pensare a *Music for piano 1-84*.

Sono sobbalzato sulla sedia quando ho visto che Francesco Ballila Pratella, il musicista che Filippo Tommaso Marinetti aveva alleato per primo nel Movimento Futurista, aveva scritto un volume dal titolo *Con me a funghi*, che dal 1949 fu pubblicato soltanto nel 2009 a Ravenna dalle Edizioni Del Girasole. Era un altro curioso collegamento tra Cage e il Futurismo, oltre al punto di contatto tra lui e Luigi Russolo, ambedue per la prima volta nella storia, anche se con modalità diverse, portatori del rumore nel possibile sonoro come materia da considerare oggetto di attenzione e non di inquinamento acustico. Russolo aveva teorizzato una nuova estetica basata sull'immergere l'arte musicale nella vita quotidiana aprendola alla sonorità del mondo moderno (la metropoli,

**Nella pagina a fianco:**  
Trametes for John Cage,  
Daniele Lombardi.

**La vita di tutti i giorni è scandita da musiche che corrispondono ancora a criteri di consonanza-dissonanza, piacevolezza-sgradevolezza, non attenzione al nuovo ma tentativo di riconoscere ciò che si è già sentito**

le fabbriche ecc.), e facendo di questa dimensione, come disse nel suo manifesto *L'arte dei rumori* (1913), una nuova voluttà acustica. Il manifesto esordiva con la frase:

**La vita antica fu tutta silenzio. Nel diciannovesimo secolo, con l'invenzione delle macchine, nacque il Rumore. Oggi il Rumore trionfa e domina sovrano sulla sensibilità degli uomini.**

Cage, che nel 1946 in un'intervista dichiarò di essere assai interessato alle idee di Russolo, introdusse l'accettazione di tutti i suoni e i rumori della quotidianità come stimoli per *happy new ears*, un nuovo modo di accettare e condividere ciò che accade estemporaneamente, in modo contiguo all'improvvisazione, allo *happening*, a ciò che non è più determinazione della volontà di un compositore. Russolo costruì gli *Intonarumori* per nuove orchestre futuriste, Cage disse di aprire le finestre e di ascoltare la vita. Ho poi sentito dire dall'artista Fluxus Ben Vautier: "... peccato che poi non le ha richiuse...": una simpatica boutade.

La grande rivoluzione provocata da queste idee l'abbiamo vista esplodere in tutta la seconda parte del Novecento, con infiniti rivoli creativi, con fusioni varie, con esiti a volte straordinari come la produzione di Mike Patton o Alvin Curran.

Resta da osservare che al potere mediatico non piace il rumore; che oggi, immersi nel rumore della quotidianità, faremmo felici Russolo e Cage; ma la vita di tutti i giorni è scandita da musiche che corrispondono ancora a criteri di consonanza-dissonanza, piacevolezza-sgradevolezza, non attenzione al nuovo ma tentativo di riconoscere ciò che si è già sentito: insomma un sistema conservativo-accademico sul quale si basa l'industria

che assicura la continuità della musica attraverso la sua riproducibilità. Questo è fisiologico, ma dovrebbe affiancare il tentativo di condivisione non dei linguaggi, ma della coscienza di un'attenzione e di una curiosità che sono a monte di qualsiasi atto creativo, una necessità di sensibilizzare il rapporto con qualsiasi energia sonora. Una lettura del caos, il non riconoscere sempre strutture a monte, apre a nuovi paesaggi sonori e in tutto il Novecento – dall'Astrattismo che della sinestesia faceva un passaporto, alla pittura informale, l'espressionismo astratto e altre forme di gestalt – il gioco dell'arte ha vissuto potente dentro una rimozione sempre in favore di accademismi e gastronomie.

Non posso dimenticare quei giorni del 1992, un mese prima della sua scomparsa, quando facemmo con Cage un concerto a Firenze e avemmo modo di stare a lungo con lui, e in particolare quella cena in un piccolo ristorante macrobiotico di via Romana, una piccola stanza con pochi tavoli. In quello accanto a noi c'era un bambino che prese una bizza minimalista a vari decibel che determinò sguardi imbarazzati, ma Cage sorrideva e capii che nell'immergersi davvero in qualsiasi ascolto l'impressione è diversa da quella data da un impatto emotivo immediato più in superficie. Sorridendo ci disse: "Che bello!".

Daniele Lombardi esegue la Suite for Toy Piano di John Cage, Firenze Galleria dell'Accademia 2012. Scatto di Roberto Masotti).





