

# I NUOVI TRAGUARDI NELLE MISURE ACUSTICHE

**Andrea Cerniglia**  
**hilbert@venus.it**

(Estratto da RCI, anno XXV N.8, agosto 1998, Tecniche Nuove)

*Una panoramica sulle potenzialità offerte dalla strumentazione e dal software per le misure acustiche, accompagnata da una breve descrizione dei diversi approcci possibili al problema del rumore, dal più semplice al più sofisticato.*

La progettazione e la realizzazione di impianti che presentino, oltre agli altri requisiti, anche determinate caratteristiche acustiche, è oggi una questione di interesse generale anche in funzione delle recenti normative emanate in materia di inquinamento da rumore. Obiettivo del presente articolo è fare una breve carrellata su quanto la tecnologia mette a disposizione del progettista, al fine di eseguire misure acustiche volte alla realizzazione di un migliore clima acustico, oltre che termico.

## **Il fonometro**

Lo strumento base per eseguire una misura acustica è, come sappiamo, il fonometro. In realtà dietro a questo termine si nasconde agli occhi dell'ignaro possibile utilizzatore, un orizzonte costellato di sigle, marche, modelli e caratteristiche diverse. Una prima organizzazione nella famiglia dei fonometri può essere operata distinguendo i fonometri 'integratori' da quelli che invece non hanno la possibilità di eseguire l'integrazione. Si intende per 'fonometro integratore', uno strumento capace di calcolare il livello equivalente, ossia il livello medio di rumore su un determinato periodo di misura. Il fonometro non integratore è invece capace di eseguire soltanto una misura istantanea. Da quanto illustrato emerge che, mentre i fonometri integratori consentono di associare un valore numerico anche a quelle situazioni in cui la rumorosità risulta variabile nel tempo (ad esempio per la presenza di cicli macchina), i fonometri non integratori generalmente si prestano a misurare soltanto fenomeni di tipo stazionario. Entrambe le tipologie di fonometro consentono comunque, se equipaggiate di registratore grafico o di interfaccia per personal computer e software dedicato, di tracciare l'andamento del rumore in funzione del tempo. La figura 1 mostra l'evoluzione del dB(A) su un periodo di 30 secondi, eseguita per mezzo di un software dedicato collegato ad un fonometro dell'ultima generazione. Indicativamente il costo di un fonometro integratore di classe 1 si aggira, a seconda della marca e del modello, intorno ai 4-6 milioni di lire; al costo del fonometro bisogna poi aggiungere circa 1-1.5 milioni per un calibratore (una sorgente di riferimento che serve a verificare la calibrazione del sistema), ed eventualmente il costo di altri accessori o softwares.

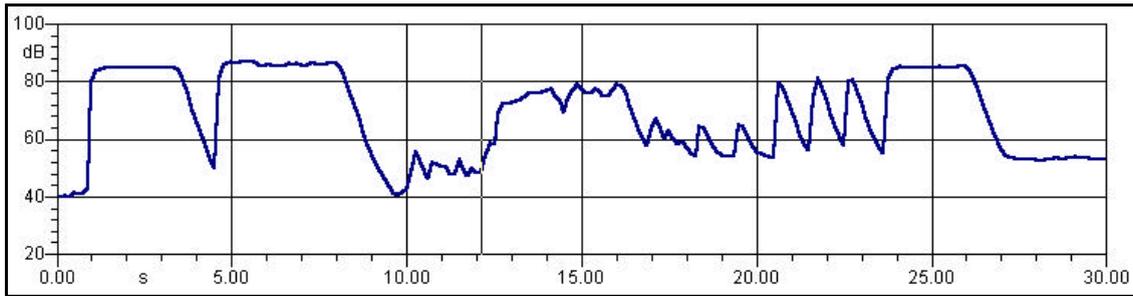


figura 1: andamento dB(A) in funzione del tempo ottenuto per mezzo di software dedicato e personal computer interfacciato al fonometro. Il tracciato mostrato, relativo a 30 secondi di acquisizione, consente di valutare la variazione del rumore nel periodo di osservazione del fenomeno acustico.

## Il fonometro-analizzatore

Fatta la distinzione tra fonometri integratori e non, un'ulteriore caratteristica divide i fonometri capaci di eseguire la scomposizione in frequenza del rumore, da quelli che invece forniscono soltanto un dato globale. E' palese che, mentre un dato globale ha il più delle volte solo una valenza di dato di verifica, la scomposizione in frequenza del rumore consente uno studio più approfondito del problema acustico.

L'analisi in frequenza può essere eseguita per mezzo di filtri sequenziali oppure per mezzo di filtri paralleli. Nel primo caso l'analisi viene eseguita selezionando sequenzialmente i filtri relativi alle diverse bande di frequenza. Nel secondo caso, invece, lo strumento analizza contemporaneamente tutte le bande di frequenza che compongono lo spettro acustico. La figura 2 mostra alcuni fonometri-analizzatori dell'ultima generazione.



figura 2 : alcuni fonometri analizzatori dell'ultima generazione. Da sinistra verso destra : Larson&Davis 824, Ono Sokki LA 5110 e CEL 593.

Anche qui si impone una precisazione: nel caso di fenomeni stazionari è possibile utilizzare strumenti in grado di eseguire l'analisi sequenziale in quanto, poiché il rumore non cambia nel tempo, si possono analizzare le diverse frequenze in tempi successivi. Differente è il caso in cui il fenomeno acustico non è di tipo stazionario: in questo caso infatti l'analisi sequenziale può portare a risultati errati poiché, a causa della variabilità del fenomeno acustico, può capitare di analizzare una certa banda di frequenza nel momento in cui ad esempio la massima rumorosità è presente su una banda diversa. L'unico modo per evitare l'errore citato, è l'esecuzione delle varie misure alle diverse frequenze, sulla stessa registrazione acustica relativa ad un periodo di tempo significativo o, almeno, l'esecuzione delle misure su un numero significativo di cicli macchina, ripetuti, uguali a se stessi, per ogni banda di analisi. Ovviamente, nel caso in cui il fenomeno acustico venga registrato, è necessario utilizzare un registratore di caratteristiche adeguate. La figura 3 mostra lo spettro dei minimi livelli ottenuto con un fonometro a filtri paralleli, con sovrapposte le curve isofoniche, per la ricerca delle componenti tonali, secondo la metodologia prevista nel recente Decreto del 16 marzo 1998. Anche per quanto riguarda l'analisi in frequenza, l'eventuale associazione di un registratore grafico o di un personal computer, consente la visualizzazione dei livelli di rumorosità in funzione della frequenza o, eventualmente, la visualizzazione dell'andamento di una determinata frequenza in funzione del tempo. Prendendo in considerazione uno strumento di classe 1, il costo per un fonometro-analizzatore in tempo reale (capace quindi di eseguire l'analisi in frequenza simultaneamente in tutte le bande di frequenza) può oscillare, in funzione della marca e del modello, tra i 13 e i 18 milioni di lire; anche in questo caso è necessario prevedere il costo di un calibratore e degli eventuali accessori e softwares.

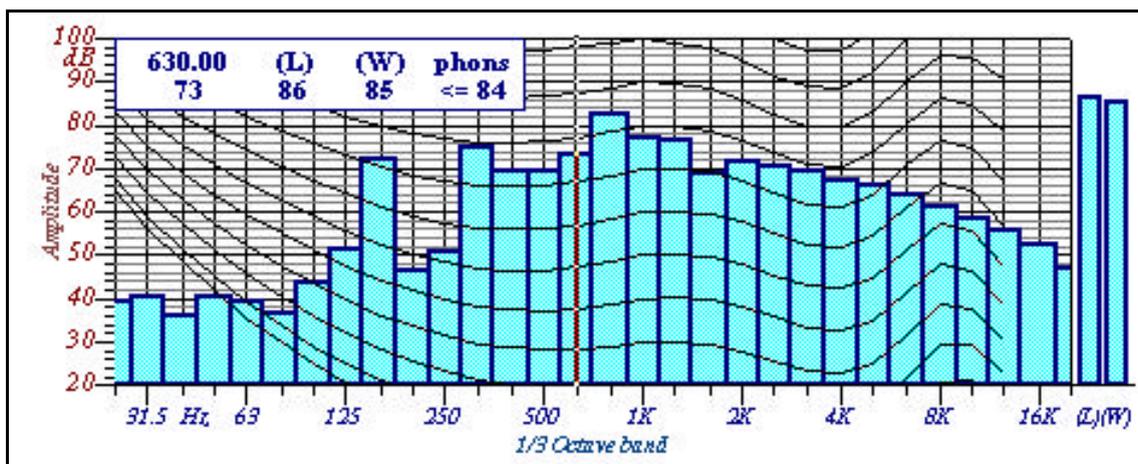


figura 3: scomposizione del rumore in funzione della frequenza. L'immagine mostra lo spettro acustico in bande di 1/3 di ottava nell'intervallo di frequenza compreso tra 20 Hz e 20.000 Hz (colore azzurro), con sovrapposte le curve isofoniche (colore nero).

## Il software di elaborazione e rappresentazione

Una volta eseguita la misura, si pone il problema di una rappresentazione dei dati che sia efficace dal punto di vista della comprensione del fenomeno acustico. Se è vero che tutto sommato c'è abbastanza poco da dire per quanto riguarda un semplice dato di livello equivalente globale, le cose si complicano un poco quando il fenomeno è variabile o quando si esegue l'analisi in frequenza. Il massimo della complicazione è ovviamente dato dal caso in cui si analizzi un fenomeno variabile nel tempo e, di questo si desideri ottenere anche la scomposizione in frequenza. Nel caso in cui si voglia infatti valutare il modo in cui lo spettro evolve nel tempo, una rappresentazione a due dimensioni non è più sufficiente per mostrare la combinazione di frequenza-tempo-livello. Un efficiente modo di rappresentazione a tre dimensioni è dato dallo spettrogramma o sonogramma. Nel citato modo di visualizzazione viene rappresentato sull'asse orizzontale il tempo, sull'asse verticale la frequenza e, secondo una scala cromatica, il livello di rumorosità. Con questo artificio è quindi possibile mostrare l'evoluzione dello spettro in funzione del tempo.

La figura 4 è relativa ad un'acquisizione dello spettro compreso tra 20 Hz e 20 kHz ad intervalli di 250 millisecondi, su un periodo totale di 60 secondi, elaborata con un programma dedicato.

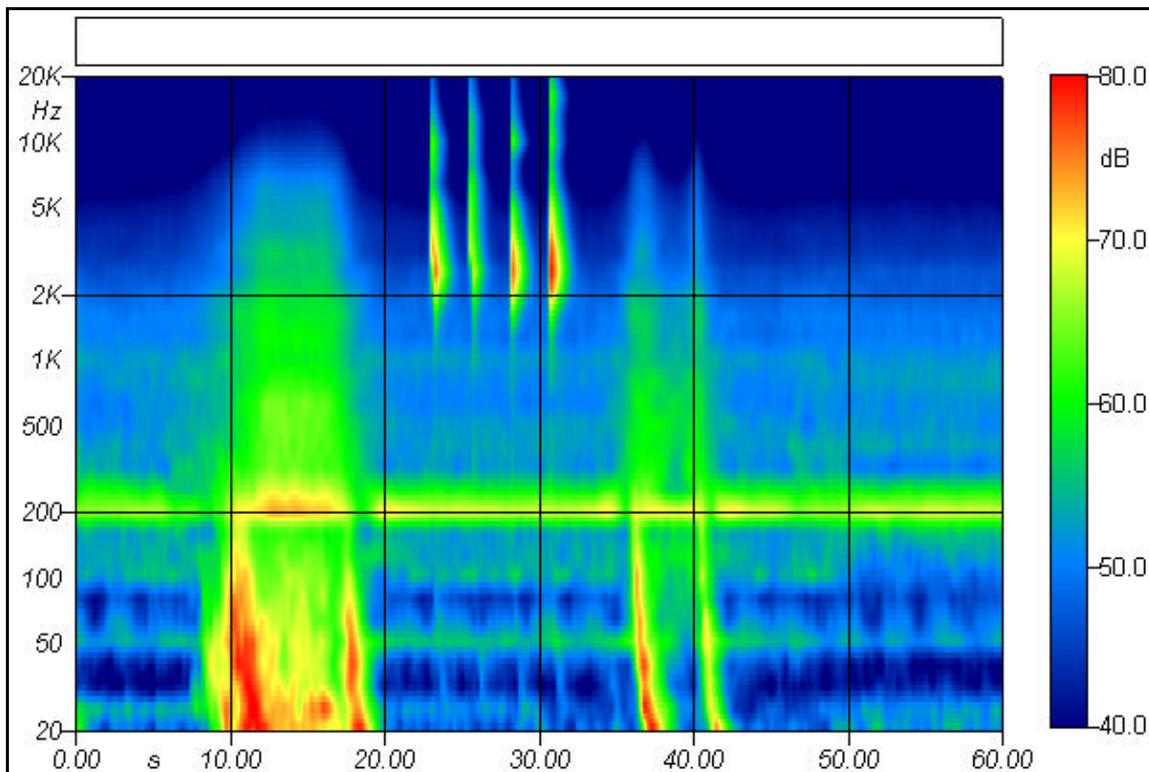


figura 4: sonogramma a colori, l'asse orizzontale è relativo al tempo, quello verticale alla frequenza e la scala cromatica indica i livelli di rumorosità. A destra del grafico è riportata la legenda dei colori: al nero-blu corrispondono i livelli più bassi, al rosso i livelli più elevati.

Per comprendere meglio l'interpretazione di un sonogramma, si può immaginare quest'ultimo come la proiezione su un piano, del più classico diagramma tridimensionale frequenza-tempo-livello. La figura 5 mostra un diagramma tridimensionale visto in assonometria (rappresentazione waterfall) abbinato al corrispondente sonogramma a colori. Dalla figura è possibile vedere come nella rappresentazione classica si può incorrere nell'effetto di mascheramento grafico (gli spettri di livello più basso sono nascosti dagli spettri di ampiezza più elevata che si trovano davanti a questi), e come invece nel sonogramma tale effetto non si verifica.

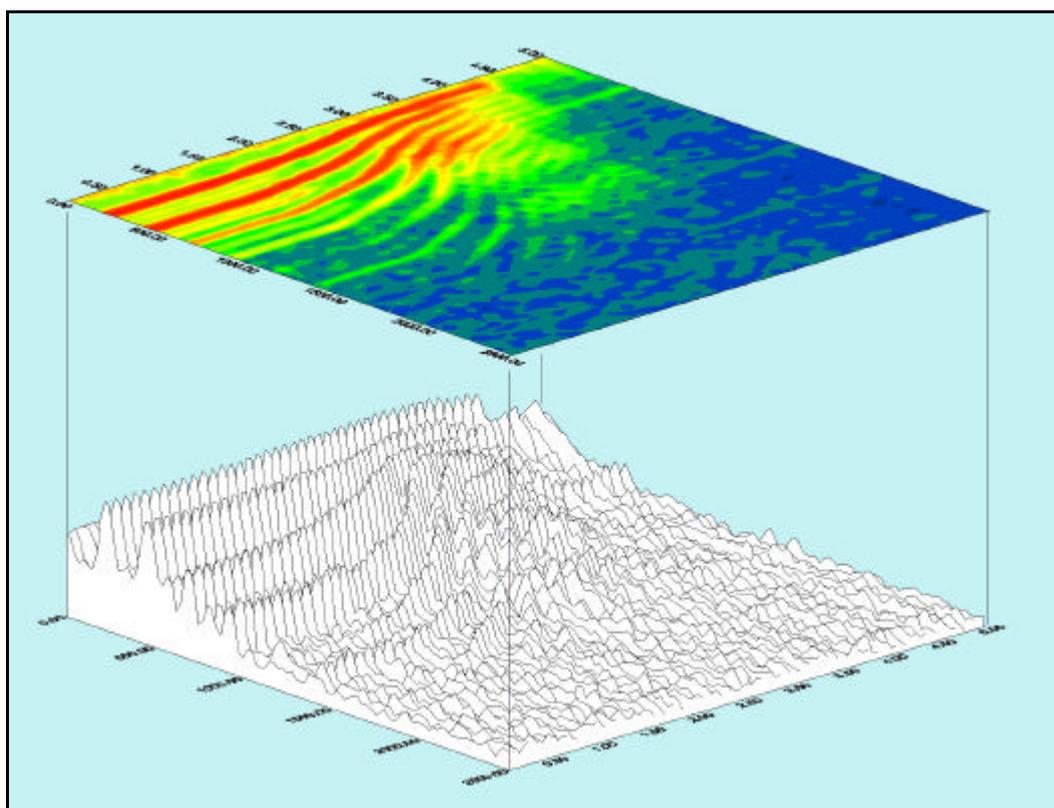


figura 5 : il sonogramma è un efficiente sistema di rappresentazione a tre dimensioni. Nella parte inferiore della figura è mostrato un diagramma tridimensionale classico, raffigurante una successione di spettri nel tempo. Nella parte superiore è rappresentato il corrispondente sonogramma: nel sonogramma la terza dimensione è costituita da una scala cromatica blu-verde-giallo-rosso.

Un ulteriore passo in avanti si può compiere utilizzando un programma che consente di combinare il sonogramma con altri due diagrammi, il primo in funzione del tempo ed il secondo in funzione della frequenza. La figura 6 mostra un sonogramma nel quale è stato posizionato il cursore in una particolare posizione (il cursore è identificato dalle due linee chiare, orizzontale e verticale). Il diagramma posto superiormente al sonogramma mostra l'andamento nel tempo della frequenza selezionata dal cursore (o, detto in altro modo, la sezione orizzontale del sonogramma), il grafico a destra mostra invece lo spettro selezionato sempre dal cursore (la sezione verticale del sonogramma).

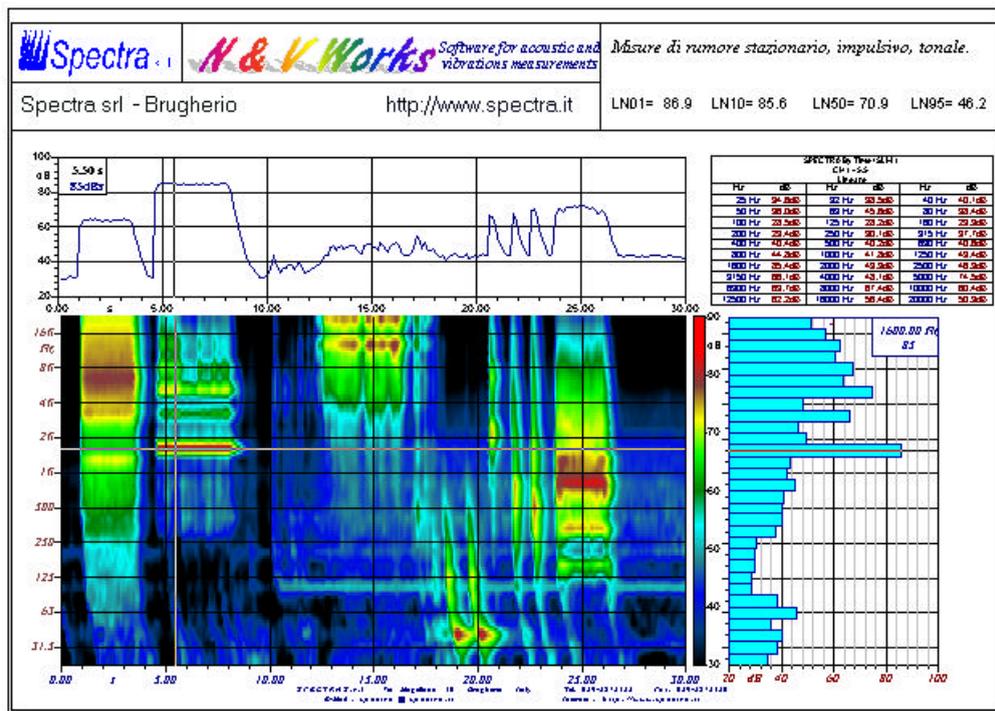


figura 6: modello di rappresentazione grafica prodotto con il software Noise & Vibration Work. La stampata contiene un sonogramma combinato con un grafico in funzione del tempo e con grafico in funzione della frequenza.

Con il programma illustrato è possibile muovere il cursore nei vari punti del sonogramma, per mezzo del mouse, e contemporaneamente vedere l'aggiornamento degli altri due diagrammi ad esso legati. E' chiaro come una rappresentazione di questo tipo consente di avere a disposizione, con un solo colpo d'occhio, l'evoluzione delle diverse frequenze in funzione del tempo; con il sonogramma è quindi possibile identificare ed analizzare in dettaglio i diversi fenomeni acustici, ad esempio relativi ad un ciclo macchina complesso. Per mezzo dello stesso programma è anche possibile, previa la solita selezione nel sonogramma con il mouse, l'ascolto in altoparlante della porzione di fenomeno acustico selezionata, e quindi la verifica di come ad un particolare evento soggettivamente riconosciuto, corrisponde una determinata rappresentazione nel dominio della frequenza.

## La mappatura acustica

Quando si rende necessario rappresentare dati acustici in funzione della posizione del punto di misura (ad esempio per valutare l'emissione di rumore di una macchina complessa, oppure la distribuzione del rumore in un ambiente), è possibile utilizzare softwares capaci di tracciare mappe cromatiche oppure mappe con curve di isolivello. E' bene sottolineare che elaborazioni come quella di figura 7, la quale mostra la mappa di emissione su una superficie prossima ad una macchina, si limitano soltanto a rappresentare in una forma grafica facilmente interpretabile, quanto è stato rilevato da uno strumento. I programmi per tracciare le mappature non

sono quindi in grado di prevedere in alcun modo la rumorosità presente in una posizione intermedia tra due punti misurati in quanto possono soltanto eseguire una mera interpolazione dei dati. Per eseguire previsioni, ad esempio della distribuzione del rumore in un ambiente, è invece necessario utilizzare appositi programmi, detti appunto di 'previsione acustica'.

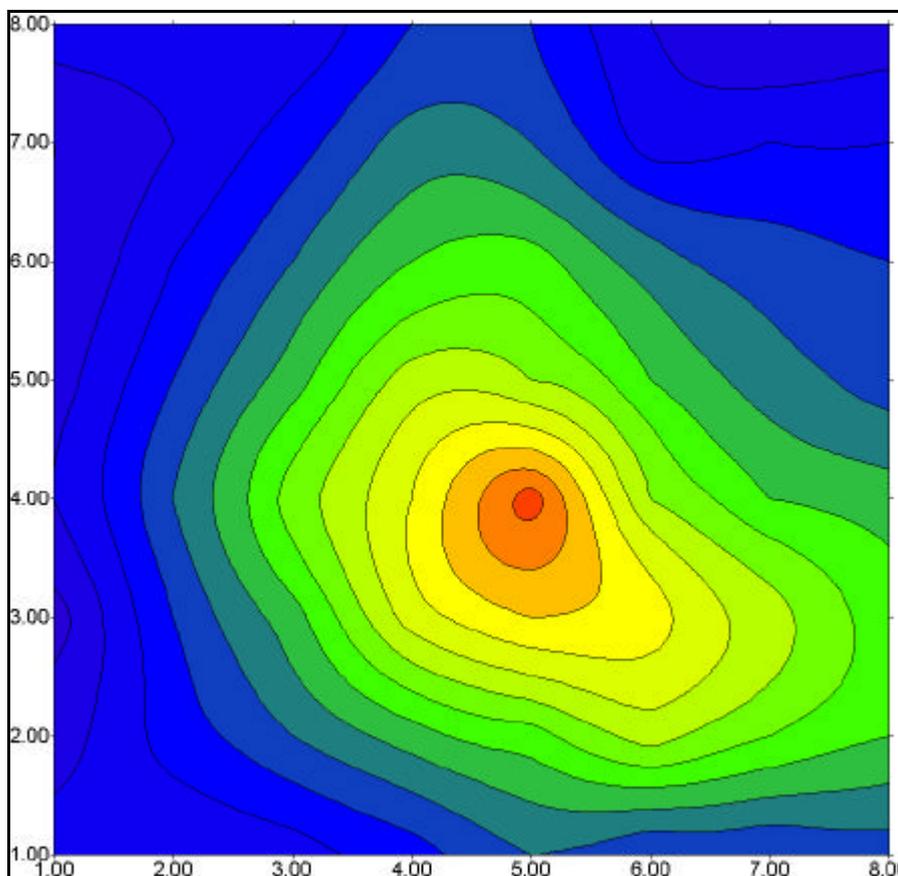


figura 7 : mappatura acustica eseguita in prossimità della superficie di una macchina per mezzo del software Surfer. La mappa evidenzia le zone di maggiore emissione acustica rilevate da un fonometro. La misura è stata eseguita su una matrice di 8x8 punti di rilievo ed il software ha eseguito l'interpolazione e la successiva rappresentazione dei risultati.

## La misura di intensità sonora

Nel caso di impianti complessi, si può porre il problema di dovere valutare la rumorosità di un singolo componente l'impianto, in presenza di altri componenti che non possono comunque essere disattivati, e che quindi disturbano la misura stessa. E' questo ad esempio il caso della valutazione della rumorosità di una pompa trascinata da un motore: non è infatti possibile misurare il rumore emesso dalla pompa escludendo il motore che, se spento, smetterebbe ovviamente di trascinare la pompa in esame. In situazioni di questo tipo viene in aiuto una caratteristica offerta da alcuni analizzatori a due canali. Questi ultimi, associati ad un particolare tipo di trasduttore, consentono di realizzare un misuratore di intensità sonora. A differenza della pressione sonora (il parametro normalmente misurato per mezzo del fonometro), che è una quantità scalare, l'intensità sonora fornisce una informazione di tipo vettoriale,

dotata cioè di direzione e verso. La misura dell'intensità sonora consente quindi di eseguire una valutazione del rumore in termini di livello e di direzione di provenienza. Sfruttando opportunamente questa particolare caratteristica di direzionalità offerta dall'intensità sonora, in determinate condizioni è possibile misurare il rumore emesso da un singolo componente di un impianto, escludendo gli altri rumori presenti, anche se di livello superiore. La figura 8 illustra la misura di intensità sonora.

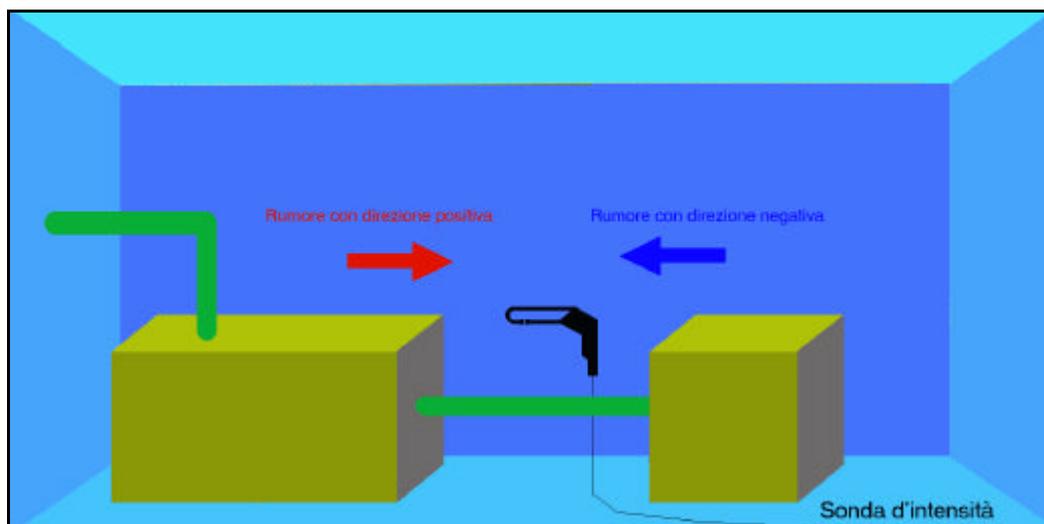


figura 8 : per mezzo della misura di intensità sonora è possibile ottenere un'informazione acustica vettoriale. Il sistema identifica, oltre al livello di rumore, anche la direzione di provenienza. In nero è rappresentata la sonda di intensità sonora orientata in una particolare direzione, in rosso e in blu il rumore proveniente rispettivamente dal verso 'positivo' e 'negativo' della direzione di orientamento.

## Uno sguardo alla normativa

In ogni indagine acustica è necessario verificare le caratteristiche e la classe di precisione richiesta per la strumentazione da utilizzarsi, in relazione alle norme di riferimento previste per quel particolare tipo di misura. Per quanto riguarda la classe di precisione, la quasi totalità delle norme italiane richiede che per le misure acustiche venga utilizzata strumentazione di classe non inferiore alla 1. La classificazione avviene secondo quanto specificato da apposite norme tecniche, e prevede la suddivisione degli strumenti per la misura del rumore in diverse classi, funzione appunto della precisione. La classe 0 è relativa agli strumenti di laboratorio, la classe 1 si riferisce agli strumenti di precisione, la classe 2 agli strumenti di sorveglianza. Oltre alla precisione è poi necessario verificare anche tutte le altre caratteristiche richieste in funzione del tipo di misura, come ad esempio la necessità dell'integrazione, dell'analisi in frequenza, la tipologia dei filtri da utilizzarsi per quest'ultima, il tipo di microfono, i parametri misurati, eccetera.

## **Conclusioni**

Indubbiamente non è possibile esaurire in poco spazio una materia tanto complessa ed articolata come quella che abbiamo voluto rapidamente riassumere in queste pagine. L'idea dalla quale è scaturito il presente articolo è quella di stimolare l'approfondimento di un aspetto importante e, per certi versi interessante, associato agli impianti di riscaldamento e di climatizzazione.

## **Bibliografia :**

A. Armani, Nota Applicativa n. 2, Spectra  
Atti del XXVI Convegno Nazionale AIA, Associazione Italiana di Acustica 1998  
Cyril M. Harris, Manuale di controllo del rumore, Tecniche Nuove 1983  
M. Vigone, Progettare il silenzio, Hoepli 1985