

IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI SONORE CON LA TECNICA BEAMFORMING

A. Cerniglia(1), T. Valente (2), A. Costa (3)

(1) 01dB Italia – Via Sanzio, 5 – Cesano Boscone – cerniglia@01db.it

(2) Studio Ambiente e Sicurezza – Via Barbino, 24 – Genova - strass@libero.it

(3) Studio Ambiente e Sicurezza – Via Barbino, 24 – Genova - strass@libero.it

La presentazione illustra un approccio estremamente efficiente per l'identificazione delle sorgenti sonore all'interno dei luoghi di lavoro, finalizzata sia alla protezione dei lavoratori, sia alla eventuale bonifica acustica dell'ambiente. La tecnica descritta può essere impiegata con successo anche per lo studio dell'eventuale disturbo acustico all'esterno.

Introduzione

La tecnica beamforming consente di ottenere, in tempi estremamente brevi, una mappa acustica dell'area in esame, sovrapposta all'immagine fotografica dell'area stessa. Grazie al tipo di rappresentazione offerto da questa tecnica, è quindi possibile 'vedere' le direzioni di provenienza del rumore, e quindi procedere all'identificazione delle sorgenti sonore presenti nell'ambiente studiato, in modo rapido ed efficace. Nel caso specifico è stato impiegato un sistema particolarmente avanzato il quale consente, con un'unica acquisizione, di rappresentare la mappa acustica in qualsiasi direzione dello spazio, con conseguente notevole risparmio di tempo, e raccolta di maggiori e più precise informazioni relative alla situazione acustica in esame. Le mappe acustiche generate dal sistema possono essere calcolate sia per ogni ottava o terzo di ottava, sia a banda stretta (FFT), sia per intervalli di frequenza definibili dall'utente. Oltre alle classiche mappe acustiche statiche, il sistema è in grado di calcolare anche mappe acustiche dinamiche, e consente quindi una precisa descrizione anche di situazioni variabili nel tempo quali ad esempio quelle relative al rumore emesso da uno o più macchinari complessi che, in pochi secondi, può coinvolgere diversi cinematismi ed altre sorgenti di rumore come valvole, sfiati, eccetera. Con il sistema impiegato, facilmente trasportabile ed estremamente compatto, il tempo necessario per una acquisizione, dall'assemblaggio del sistema stesso fino alla visualizzazione di una mappa acustica come quella rappresentata in figura 1, non richiede più di quindici minuti.



Figura 1 – Mappa acustica ottenuta con la tecnica beamforming

Principio di funzionamento della tecnica beamforming

Il principio su cui si basa la tecnica beamforming è concettualmente meno complesso di quanto possa apparire ad un primo esame. La figura 2 mostra uno schema semplificato di un sistema planare composto da un numero limitato di microfoni. Nel caso in cui un'onda (che per semplicità immaginiamo piana) giunga perpendicolarmente allo schieramento, questa viene vista con la stessa fase su tutti i microfoni e quindi la somma dei segnali degli stessi ripropone fedelmente l'onda incidente; nel caso invece in cui l'angolo risulti diverso da 90°, la differente fase con cui viene vista l'onda dai vari microfoni genera una somma 'attenuata' rispetto alla precedente, e dipendente dall'angolo incidente.

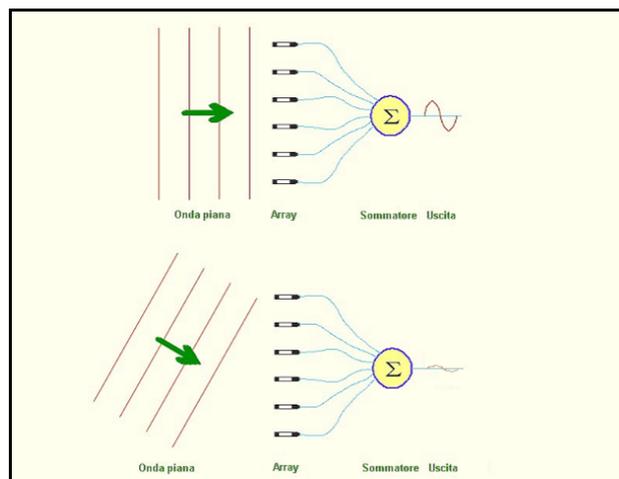


Figura 2 - Somma del proveniente dai più microfoni

In altri termini è possibile affermare che un array microfonico, a differenza del singolo microfono che presenta un diagramma polare analogo a quello rappresentato in figura 3a, è dotato di spiccata direttività che, nel caso di un elevato numero di microfoni, tende al diagramma mostrato in figura 3b (in realtà esiste una serie di lobi laterali che per semplicità non sono stati riportati nell'immagine, e che variano con il variare della frequenza in quanto la fase con cui giunge l'onda è funzione oltre che dell'angolo, anche della frequenza e della distanza tra i microfoni).

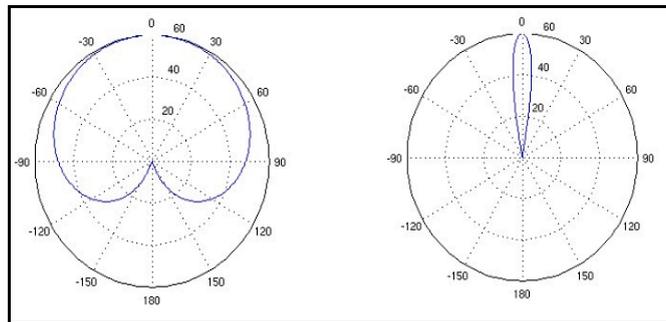


Figura 3 – Diagramma polare di un microfono (*sx*) e di un array (*dx*)

Introducendo 'ritardi' appositamente calcolati (ovviamente diversi per ogni microfono e per ogni frequenza analizzata), tra il singolo trasduttore ed il 'sommatore', risulta possibile orientare 'virtualmente' l'array al fine di ottenere una somma in fase, per una direzione diversa da quella perpendicolare. La figura 4 mostra l'orientamento 'virtuale' dell'array ottenuto per mezzo dei ritardi inseriti.

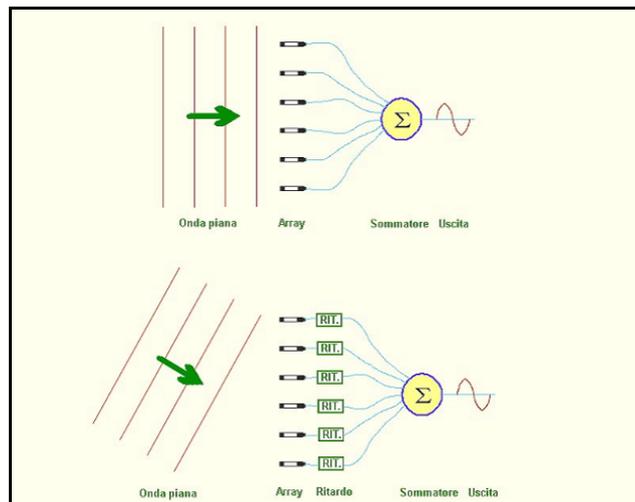


Figura 4 – Orientamento 'virtuale' dell'array microfonico

In definitiva è quindi possibile, senza muovere fisicamente alcunché, orientare 'virtualmente' il trasduttore direzionale ottenuto come combinazione di più microfoni, semplicemente operando appositi calcoli che simulino specifici ritardi sui segnali digitalizzati provenienti dei diversi microfoni, e combinando opportunamente i dati così ottenuti. Il principio appena descritto può essere applicato anche ad array microfonici bidimensionali, o ad array microfonici posti nello spazio. Grazie alla possibilità di 'orientare' per mezzo di calcoli il trasduttore direzionale ottenuto, risulta possibile misurare rapidamente il rumore proveniente da diverse direzioni per calcolare conseguentemente la mappa acustica per mezzo di interpolazioni tra le diverse direzioni misurate. Benché il principio su cui si basa la tecnica è concettualmente semplice, l'implementazione reale dell'algoritmo di calcolo che realizza quanto sopra è tuttavia molto complesso a causa della necessità di ottenere ritardi diversi in funzione delle varie direzioni, delle frequenze considerate, e della posizione dei microfoni, ma questo per fortuna non è un problema che riguarda l'utilizzatore del sistema.

Descrizione del sistema impiegato

Il sistema impiegato per effettuare le misure oltre descritte, è composto da un trasduttore di forma sferica con un diametro di circa 28 centimetri, sulla superficie del quale trovano posto 31 microfoni e 12 telecamere. Detto trasduttore è collegato con due cavi alla unità di acquisizione, composta da un front-end e da un PC portatile. La figura 5 mostra il sistema completo impiegato per le prove.



Figura 5 – Sistema completo per misure simultanee in tutte le direzioni

Grazie alla configurazione sferica del trasduttore di cui è dotato il sistema descritto, e del particolare algoritmo di calcolo impiegato, risulta possibile ottenere le mappe acustiche per ogni direzione intorno al trasduttore, e simultaneamente con una unica acquisizione. La figura 6 mostra in dettaglio il trasduttore, sulla superficie del quale è possibile distinguere i diversi microfoni e le telecamere.



Figura 5 Dettaglio del trasduttore

La sovrapposizione delle mappe acustiche con le rispettive immagini ottiche, così come la combinazione delle mappe parziali per la creazione della mappa acustica complessiva (una sorta di 'srotolamento' di quanto acusticamente rilevato dal trasduttore tutto intorno alla sfera) è completamente automatica ed è gestita dal software del sistema. La figura 6 mostra la mappa acustica complessiva.

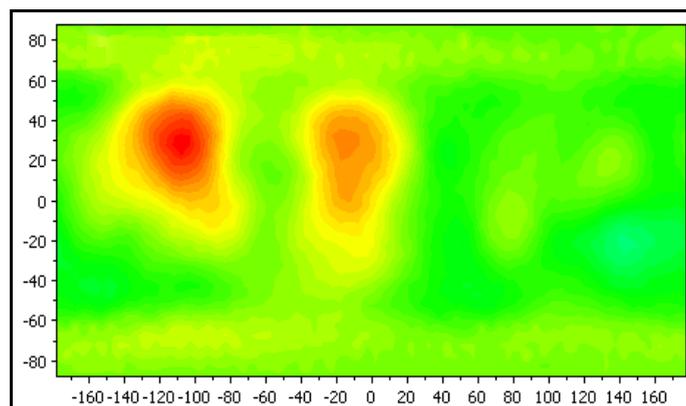


Figura 6 Mappa acustica complessiva

Misure all' interno dell' ambiente di lavoro

Nel caso reale affrontato, relativo ad un'industria del nord Italia, vi erano due principali obiettivi: il primo relativo alla identificazione delle principali sorgenti presenti all'interno di un capannone industriale, ed il secondo afferente l'individuazione dei percorsi acustici tra l'interno del capannone e l'ambiente esterno circostante. La figura 7 mostra il trasduttore montato su una scala, all'interno del capannone stesso, per quanto riguarda la parte di analisi relativa all'interno del luogo di lavoro.



Figura 7: il trasduttore montato su una scala all'interno del capannone

Poiché la tipologia di rumore presente nel capannone era di tipo continuo, l'acquisizione dei dati è stata limitata nel tempo a qualche decina di secondi, e si è scelto di generare mappe acustiche di tipo statico. L'analisi dei dati è stata condotta in banda d'ottava, nell'intervallo di frequenza tra 250 e 4000 Hz. La figura 8 mostra una mappa acustica relativa alla banda d'ottava di 2 kHz., dalla quale si evince come il maggior contributo di rumorosità in quell'ottava, giunga al trasduttore tramite una riflessione proveniente dal soffitto non trattato del capannone, e dovuta alla movimentazione di materiale metallico su un macchinario posto nelle vicinanze.



Figura 8:mappa evidenziante la riflessione del rumore sul soffitto

Oltre alla mappa a falsi colori, il sistema consente di ottenere anche una mappatura a valori numerici, con la quale è possibile quantificare i contributi dalle diverse direzioni. La figura 9 mostra un'altra vista ottenuta dalla stessa acquisizione di dati (telecamera diametralmente opposta alla precedente), relativa ad una estremità del capannone che è stata successivamente studiata anche dall'esterno per la valutazione della propagazione del rumore.

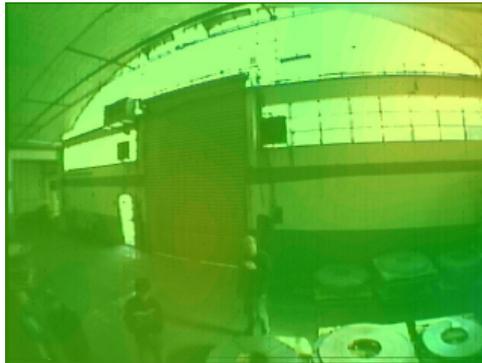


Figura 9: mappa relativa ad una estremità del capannone

Misure all'esterno

Le misure all'esterno sono state condotte da due diverse postazioni: la prima nelle immediate vicinanze del capannone oggetto delle precedenti immagini, e la seconda dal tetto di un edificio che, per posizione ed altezza, ha permesso di 'vedere' tutta l'area industriale di interesse.



Figura 10: trasduttore posizionato all'esterno del capannone

Tramite la misura all'esterno del capannone è stato possibile discriminare il contributo del rumore proveniente dall'interno, dal rumore associato ad un impianto posto all'esterno del capannone stesso. Le figura 11 mostra le mappe, sempre relative all'ottava di 2 kHz, conseguenti l'acquisizione di cui alla figura precedente. Le due mappe si riferiscono a due diverse direzioni rispetto al trasduttore e, come è possibile vedere dalla linea di congiunzione tra le due mappe, le immagini sono contigue.

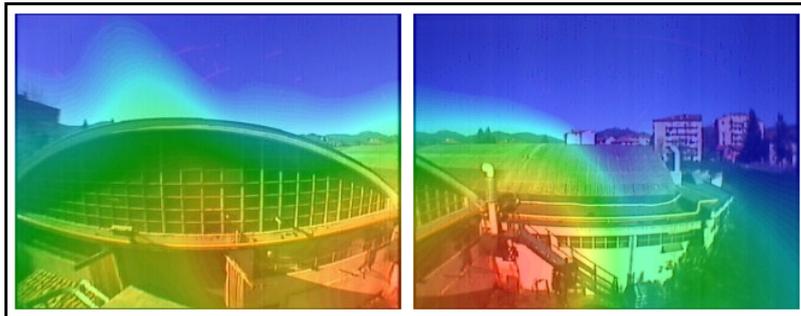


Figura 11: mappe relative all'esterno del capannone

L'acquisizione successiva, fatta dal tetto di un edificio sovrastante la zona, ha invece permesso di discriminare le diverse sorgenti provenienti dai vari punti dell'area industriale e dalle altre sorgenti presenti nel territorio. Va sottolineato che il potere risolutivo angolare del sistema dipende dalla configurazione dello stesso, e quindi la capacità di discriminare eventuali fonti di rumore vicine tra loro, degrada all'aumentare della distanza del trasduttore dalle sorgenti presenti: questo comunque di norma non costituisce un problema in quanto l'interesse a discriminare sorgenti vicine tra loro decresce anch'esso all'aumentare della distanza. La figura 12 mostra le mappe contigue relative all'ottava di 500 Hz. Dalle mappe è possibile individuare la zona che apporta il maggior contributo a quella frequenza. La scala cromatica di tutte le mappe che seguono non identica per ogni coppia di immagini, ma è stata invece opportunamente scelta al fine di evidenziare meglio i fenomeni di interesse.

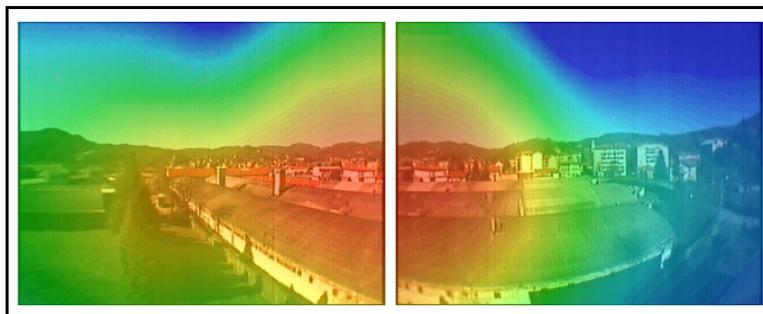


Figura 12: mappe relative a tutta la zona industriale (500 Hz)

Le mappe di figura 13, relative banda di ottava di 1000 Hz evidenziano come in quell'intervallo di frequenza la sorgente preponderante sia data da un macchinario esterno al capannone precedentemente studiato (area rossa a sinistra, nella mappa di sinistra).



Figura 13: mappe relative a tutta la zona industriale (1000 Hz)

Proseguendo con l'analisi verso le ottave più alte si può evincere un comportamento analogo anche per l'ottava di 2000 Hz, con la comparsa però di una nuova sorgente esterna all'area industriale (area arancione a destra, nell'immagine di destra), che si manifesta anche nella banda di ottava di 4 kHz rappresentata nelle mappe di figura 15. Tale sorgente, distribuita quindi tra le due ottave di 2000 Hz e 4000 Hz, è con tutta probabilità da attribuirsi al cinguettio di uccelli nel vicino parco antistante il capannone oggetto di studio. Nella mappa relativa all'ottava di 4000 Hz è presente anche una emissione dal macchinario esterno precedentemente individuato, mentre non si evidenzia l'emissione del capannone.

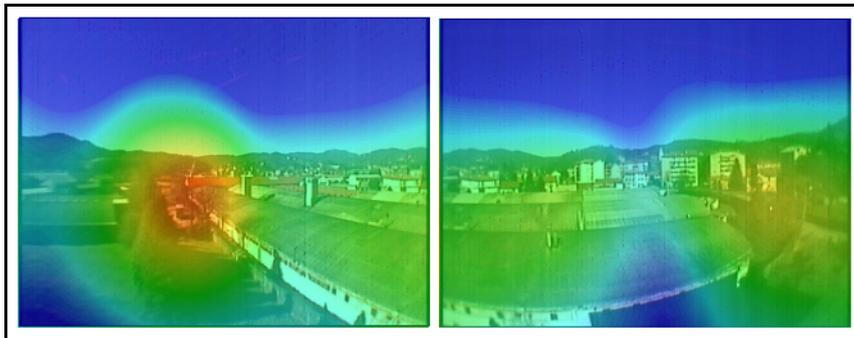


Figura 14: mappe relative a tutta la zona industriale (2000 Hz)



Figura 15: mappe relative a tutta la zona industriale (4000 Hz)

Alcune precisazioni

La tecnica beamforming non deve essere confusa con la tecnica acustico-olografica: mentre quest'ultima consente infatti di calcolare il campo acustico partendo da una misura effettuata su un piano di misura con uno o più riferimenti posti su un piano diverso, e permette quindi di ottenere mappe acustiche a distanze diverse dalla sorgente, la tecnica beamforming si limita ad interpolare una mappa acustica partendo da una serie di punti misurati grazie al 'trasduttore direttivo' realizzato da calcolo.

Conclusioni

Grazie alla tecnica esposta, l'individuazione delle sorgenti di rumore sia all'interno degli ambienti industriali, sia all'esterno degli stessi per la valutazione del possibile disturbo alla comunità, diventa un'operazione molto più rapida rispetto al passato. La tecnica beamforming si rivela quindi molto utile per affrontare in modo rapido ed efficace la bonifica acustica degli ambienti, e trova applicazione anche tra i costruttori dei macchinari industriali che così, indagando in dettaglio le loro macchine, possono intervenire con successo sui progetti delle stesse, limitando quindi il più possibile il rumore alla fonte.