

PDF

WWW.RENATOGIUSSANI.IT

Prospettiva sonora e sorgenti virtuali nei sistemi di altoparlanti stereofonici

Prove



di Renato Giussani

Antefatto

Qualsiasi metodo di registrazione e riproduzione del suono deve fare uso di almeno un trasduttore capace di trasformare le onde acustiche in segnali memorizzabili e di un secondo trasduttore in grado di effettuare la trasformazione contraria. I due trasduttori potrebbero in alcuni casi essere identici, da cui la riduzione del sistema di trasduzione ad un unico elemento commutabile. Per passare da uno schema tanto semplificato, corrispondente ad esempio al primo grammofofono di Edison, ad un moderno sistema di registrazione/riproduzione alta fedeltà, è stato necessario percorrere un processo di evoluzione durato più di 100 anni. La storia dei miglioramenti qualitativi del processo di registrazione/riproduzione del suono è consistita, per la maggior parte del tempo, in un continuo affinamento tecnico dei mezzi impiegati. Durante tanto tempo, abbiamo imparato a costruire trasduttori sempre più perfezionati e specializzati: microfoni per la ripresa e altoparlanti per la riproduzione.

I microfoni si sono poi differenziati in diversi tipi e categorie a seconda delle particolari applicazioni. Stessa sorte hanno subito gli altoparlanti, divenuti complessi sistemi costituiti da più trasduttori e annessi circuiti di controllo. Supporto indispensabile alla evoluzione dell'elettroacustica è stato fornito dagli enormi progressi dell'elettronica, promossi in buona parte dal settore delle telecomunicazioni.

Ma, come tutti sappiamo, il telefono non è stereo e la radio lo è da tempi relativamente recenti, mentre la televisione è ancora di fatto monofonica nonostante l'enorme numero di utenti e le cifre da capogiro che le ruotano intorno.

Così l'alta fedeltà, che non ha certo mezzi di ricerca paragonabili a quelli dei settori citati, dopo i primi anni in cui ha potuto valersi della ricaduta dei risultati della ricerca altrui, si è trovata per così dire "spiazzata" ed ha dovuto (e voluto) sopravvivere di espedienti. Questa è la causa principale del disamore che si è impadronito in questi ultimi anni della maggior parte degli appassionati. Ora sembra che la situazione stia cambiando: le tecniche digitali (che promettono rivoluzioni non solo tecnologiche) e la presa di coscienza di numerosi costruttori di una certa importanza, permettono di pronosticare un nuovo periodo di risorgimento hi-fi. In quest'ottica vanno visti anche gli ultimi sviluppi delle tecniche di riproduzione stereofonica oggetto delle considerazioni che seguono.

Dopo moltissimi anni di monofonia e tanti altri di stereofonia "bruta", pare che sia giunto il momento di dedicare del tempo a riconsiderare dalle basi tutto il processo, per dare spunto a sviluppi ed affinamenti. In realtà nulla di completamente nuovo risplende al sole, ma la presa di coscienza che esistono ancora molti problemi da risolvere (prima di dare inizio alle danze della quadrifonia...!) fa ben sperare.

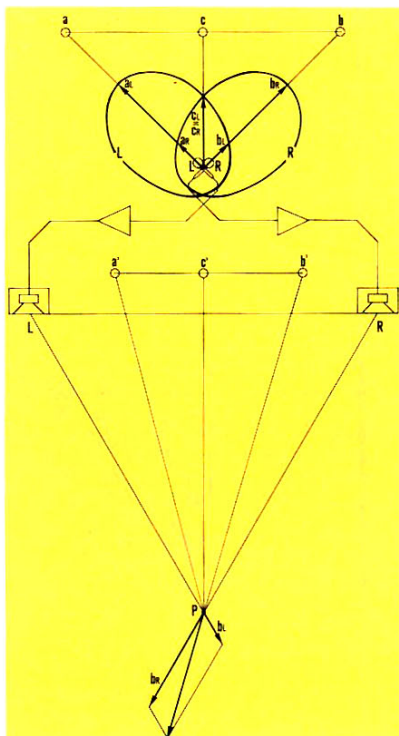


Fig. 1 - Tecnica di ripresa stereofonica con microfoni coincidenti. Le differenze fra i segnali dei due canali derivano dall'andamento dei diagrammi polari dei microfoni usati.

Un problema della stereofonia

Ricordiamo che la stereofonia ha lo scopo dichiarato di fornire all'ascoltatore le informazioni necessarie a ricostruire la diversa posizione delle sorgenti reali sul piano orizzontale.

Per analogia con il legame esistente fra visione binoculare e stereoscopia, si suppone subito (non senza qualche supporto sperimentale) che la rilevazione delle informazioni direzionali fosse in qualche modo legata alla presenza di due orecchie.

Esistono in verità dei meccanismi, basati su analisi spettrali e temporali del segnale, che (valendosi anche di una "banca dati" fornita dalla memoria) possono estrarre informazioni direzionali anche dal segnale percepito con un solo orecchio. In ogni caso, fu deciso che, per dotare di una dimensione orizzontale la scena acustica riprodotta, si sarebbero utilizzati due altoparlanti. Il metodo di ricostruzione delle informazioni direzionali utilizzato dalla stereofonia si basa principalmente su differenze di livello fra i segnali emessi dai due altoparlanti del sistema. Ad esempio, nella situazione di ripresa di fig. 1, le differenze di livello sono fornite dall'andamento dei diagrammi polari dei microfoni usati. Ipotizzando che il sistema uditivo dell'ascoltatore effettui la somma "vettoriale" delle pressioni acustiche fornite dalle due sorgenti artificiali (assumendo per direzione e verso quelli di movimento del fronte d'onda), la sorgente virtuale cui si riferiscono verrà localizzata lungo la direzione della risultante. Dunque il metodo appena visto è in grado di presentare all'ascoltatore una scena acustica virtuale molto simile a quella naturale (anche se espansa o compressa a volontà a seconda dei triangoli di ascolto). L'ascoltatore, a meno dell'acustica del suo locale di ascol-

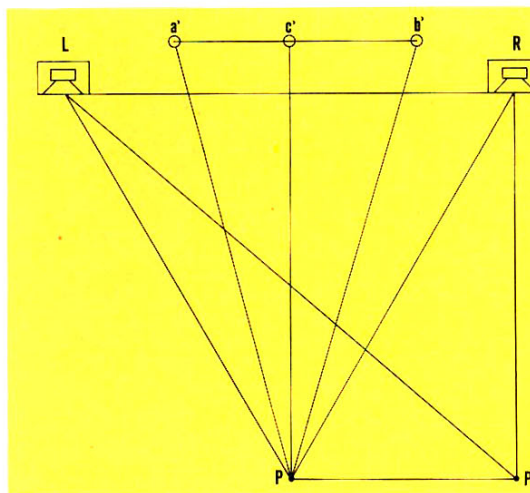


Fig. 2
Quando l'ascoltatore si sposta da P a P' percepisce una diminuzione del livello di L ed un aumento di quello di R.

Prove

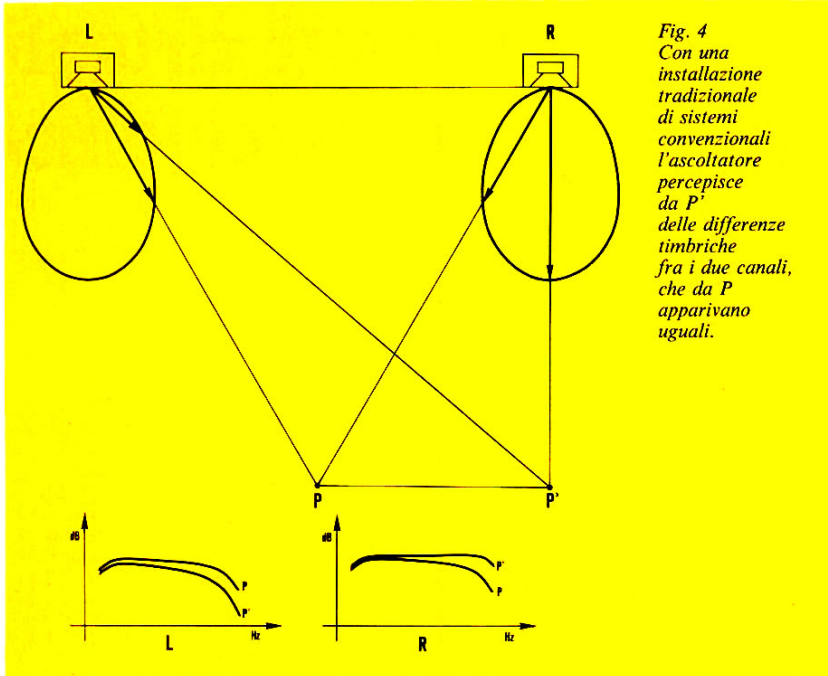


Fig. 4
Con una
installazione
tradizionale
di sistemi
convenzionali
l'ascoltatore
percepisce
da P'
delle differenze
timbriche
fra i due canali,
che da P
apparivano
uguali.

to (che si somma a quella originale), avrà la sensazione di trovarsi in una posizione simile a quella occupata dai microfoni, di fronte alle sorgenti naturali (fig. 1).

Finora abbiamo supposto che l'ascoltatore sia equidistante dai due altoparlanti, dato che le registrazioni stereo vengono effettuate prevedendo tale geometria di ascolto.

Nel caso che la posizione di ascolto venga spostata in P' (fig. 2) le relazioni di livello fra i segnali percepiti dai due diffusori varieranno. Concentrando l'attenzione sui segnali relativi alla sorgente centrale "C", si nota che, mentre nella posizione P erano perfettamente uguali, da P' vengono percepiti con un rapporto di ampiezze inversamente proporzionale al rapporto fra le distanze di P' da L e da R. In altre parole, passando da P a P': "il volume soggettivo di L diminuisce e quello di R aumenta". La conseguenza è uno spostamento di C verso R. Un'altra conseguenza dello spostamento dell'ascoltatore da P a P' consiste nella differenza fra i tempi di arrivo dei due segnali (destro e sinistro) alle orecchie. Anche questa variazione tende a "comprimere" la scena acustica verso l'altoparlante più vicino. L'effetto complessivo per spostamenti progressivi della posizione di ascolto è mostrato in fig. 3. Uno dei "rimedi" più antichi al male appena esposto consiste nell'uso del controllo di bilanciamento. Una volta avvenuto lo spostamento, l'ascoltatore agisce sul controllo fino a che la sorgente centrale ritornerà ad essere centrale: sul fatto che funzioni non vi sono dubbi, una "sovracompensazione" dei livelli è in grado di combattere anche le differenze nei tempi di arrivo, anche se in questo caso la sorgente centrale apparirà probabilmente un poco più ampia, meno stabile e meno a fuoco che dalla posizione P.

Esaminando più in dettaglio quali variazioni hanno subito i segnali acustici percepiti da L e da R nello spostamento da P a P', scopriamo di non avere tenuto conto dei diagrammi polari degli altoparlanti. Supponendo che la installazione sia quella classica parallela alla parete, si vede che, mentre in P l'ascoltatore vedeva gli altoparlanti sotto lo stesso angolo, da P' egli si

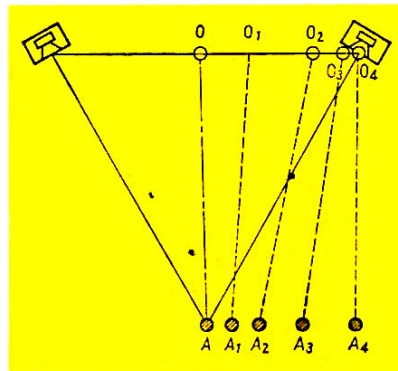


Fig. 3 - Slittamento delle sorgenti virtuali con lo spostamento della posizione di ascolto (dopo Bauer).

trova sull'asse di R e molto più lontano dall'asse di L; se gli altoparlanti sono dei classici trasduttori a radiazione diretta (peggio se a pannello) dotati di diagrammi polari via via sempre più ridotti alle alte frequenze, si incorrerà anche in una importante variazione timbrica: più aperto il suono percepito da R e più chiuso quello di L (fig. 4). Il controllo di bilanciamento non prevede una correzione dello spettro e quindi non può essere considerato una compensazione accurata. Inoltre, cosa è successo al povero ascoltatore N. 2 rimasto nei pressi di P? Per lui la correzione apportata dal Sig. N. 1, non essendo necessaria, è deleteria. Anche rimanendo al caso di un solo ascoltatore, non dobbiamo dimenticare che oltre al campo acustico costituito dal suono "diretto", in un normale ambiente chiuso si instaura anche il cosiddetto campo "riverberato", dipendente dalle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente e dalla potenza acustica emessa alle varie frequenze. La proprietà di tale campo è di essere costante in tutto l'ambiente e per questo non può contribuire alle informazioni direzionali; può però contribuire (e lo fa pesantemente) alle informazioni "timbriche". Ne di-

scende che una correzione elettronica dello spettro emesso dai due altoparlanti (operata ad esempio con dei controlli di tono separati per i due canali), otterrebbe anche una variazione non prevedibile del campo riverberato (e cioè della timbrica), dipendente dall'andamento dei diagrammi polari degli altoparlanti usati.

L'uso di altoparlanti dotati di una dispersione "omnidirezionale" a "tutte" le frequenze, non riuscirebbe a risolvere il problema appena esposto, nemmeno in relazione alla sola variazione timbrica. In ogni caso il livello percepito da P' privilegierebbe i segnali emessi da R, da cui la distorsione prospettica. Quanto alla timbrica, questa viene valutata in base al campo acustico "complessivo", somma di quello diretto più quello riverberato.

A causa delle normali caratteristiche di assorbimento degli ambienti domestici (oltre che della necessità di emettere meno potenza acustica alle alte frequenze per poter riprodurre in modo accettabile delle registrazioni previste per essere riprodotte da diffusori convenzionali), il campo riverberato risulta sempre ricco di basse frequenze e relativamente povero di alte. Nello spostamento da P a P' il livello del campo riverberato non varia, mentre quello diretto di L diminuisce e quello di R aumenta. Perciò da P' il campo complessivo relativo a L apparirà più povero di alte frequenze che non di basse, mentre per il campo generato da R avverrà il contrario, risultato: L più chiuso, R più aperto.

Le proposte di soluzione

Allo stato attuale sembra che l'unica soluzione proponibile al problema esposto risieda in una opportuna scelta dei diagrammi polari degli altoparlanti. Un andamento della dispersione capace di compensare le variazioni di livello e di spettro complessivo derivanti dagli spostamenti dell'ascoltatore, potrebbe rendere possibile un ascolto corretto anche da posizioni non centrali ed a più ascoltatori contemporaneamente. In più la compensazione sarebbe del tutto "automatica" e perciò in grado di conferire alla scena acustica un realismo sconosciuto ai sistemi convenzionali.

Questo è ciò che in luoghi ed in tempi diversi hanno pensato numerosi ricercatori ed appassionati che si erano posti il problema. A parte alcune fugaci proposte degli anni passati (tra cui Snow, 1938!), a tutt'oggi sono almeno quattro i costruttori che propongono diffusori pensati per risolvere il problema dell'ampliamento dell'area utile di ascolto stereofonico ottimale.

La Bose produce la 901 dal 1968 (fig. 5); giunta ormai alla serie 5 questa "veterana" dei non convenzionali basa la sua filosofia costruttiva soprattutto sulla equalizzazione attiva e la emissione Direct/Reflecting, che ottiene un particolare rapporto energetico fra il campo diretto e quello riflesso. I diagrammi polari e la disposizione in ambiente prevista per le 901 consentono però anche una certa invarianza prospettica su una ampia area di ascolto. La ESB ha presentato la sua 7/05 ad emissione DSR nel 1981 ed AUDIOREVIEW pubblicò un articolo sulla filosofia di progetto DSR nel mese di febbraio 1982. A quel modello sono seguiti poi molti altri, fra cui la 7/06 (quattro vie ed emissione DSR sia orizzontale che verticale) che ha avuto un grande successo di critica anche negli USA (fig. 6). La Wharfedale ha presentato la sua Option One nel 1983. In questo caso il modellamento della dispersione è ottenuto facendo appello ad una emissione dipolare; le caratteristiche progettuali e costruttive candidano la Option One ad un posto di rilievo fra i più interessanti sistemi di altoparlanti mai realizzati (fig. 7). Il quarto costruttore a presentarsi all'appello sul fronte del-

la lotta alle deformazioni prospettiche è stata la dbx Inc con la sua Soundfield One del giugno 1984, in prova su questo stesso numero. Quattordici altoparlanti per diffusore ed un complicatissimo crossover progettato dal computer sono il biglietto di presentazione nel mondo dei non-convenzionali (fig. 8).

Una ipotesi semplificata

Per capire come sia possibile realizzare dei diagrammi polari capaci di compensare le variazioni di livello causate da ascolto non centrale, possiamo provare a ripercorrere i ragionamenti che hanno portato alla definizione della caratteristica di emissione DSR. Iniziamo col fare alcune ipotesi semplificative necessarie per arrivare ad una soluzione approssimata di facile comprensione.

- 1) Si suppone di utilizzare due altoparlanti puntiformi, omnidirezionali su tutto lo spettro audio.
- 2) Si esclude qualsiasi effetto di un eventuale campo riverberato sulla localizzazione.
- 3) Con riferimento alla fig. 9, due altoparlanti A e B sono alimentati con segnali elettrici identici che forniscono all'ascoltatore in P_0 una immagine virtuale in S_0 .
- 4) Si ipotizza poi che l'ascoltatore identifichi le sorgenti virtuali lungo la direzione del vettore risultante dalla somma delle pressioni che lo raggiungono da A e da B, cui viene attribuita la direzione ed il verso della congiungente sorgente-punto di ascolto (escludendo quindi l'effetto della differenza temporale).
- 5) La congiungente P_0S_0 viene confusa con la bisettrice dell'angolo APB (il che equivale a considerare S_0 arretrato rispetto alla congiungente AB).

L'ascoltatore si porti ora in P lungo una circonferenza che lo mantenga equidistante da S_0 . La pressione acustica percepita dovuta alla emissione di A sarà diminuita dal fattore AP_0/AP , mentre quella dovuta a B sarà aumentata del fattore BP_0/BP . Perché l'ascoltatore continui a localizzare da qualsiasi punto P, sulla circonferenza, la sorgente virtuale in S_0 , le pressioni acustiche in P dovranno essere rese uguali a quelle in P_0 . A questo scopo, i diagrammi polari di emissione di A e di B, rilevati alla

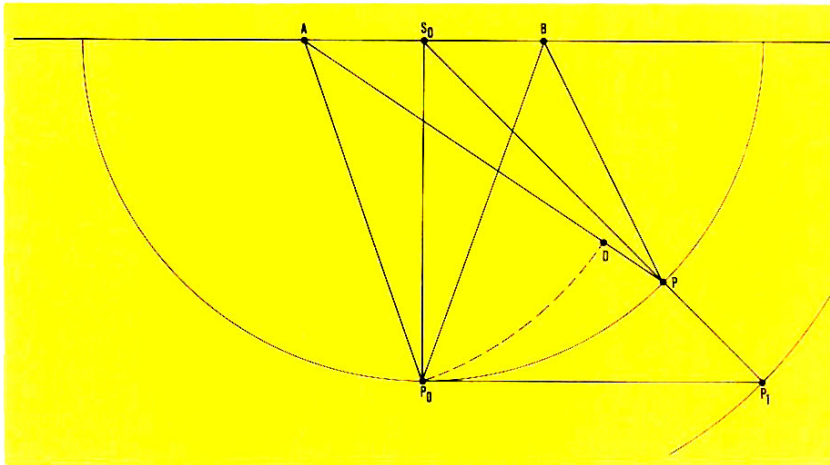


Fig. 9 - Configurazione adottata per la esposizione della ipotesi di soluzione semplificata, descritta nel testo - A e B rappresentano gli altoparlanti P_0 , P_1 e P sono possibili posizioni di ascolto; S_0 è una sorgente virtuale.

distanza AP_0 da A e BP_0 da B, nella stessa scala già definita, saranno rappresentati dalla circonferenza già tracciata. Infatti, per un generico punto P sulla circonferenza, il livello di pressione misurato alla distanza $AD=AP_0$ dalla sorgente A dovrà essere aumentato di quanto poi diminuirà passando dalla distanza AD alla distanza AP. Come già visto il fattore di riduzione è pari ad AP_0/AP , da cui il raggio del diagramma polare in direzione di P sarà pari ad $AP_0 \times AP/AP_0$, cioè AP.

Stesso ragionamento vale per il secondo altoparlante B, che dovrà quindi avere un diagramma polare rappresentato dalla stessa circonferenza, ovvero speculare del primo.

I diagrammi polari reali

Nelle considerazioni precedenti abbiamo introdotto molte approssimazioni e semplificazioni, fra cui la esclusione di qualsiasi intervento del campo riverberato e delle differenze temporali fra i segnali percepiti dai due altoparlanti nei fenomeni di localizzazione.

La prima ipotesi è comunque verificata, mentre una sua influenza su eventuali variazioni timbriche, nel caso di dispersione uguale su tutto lo spettro audio, è automaticamente esclusa. Per la seconda ipotesi, ovvero quella sulle differenze dei tempi di arrivo dei segnali da A e da B, si può sempre supporre che l'andamento dei diagrammi polari venga corretto sperimentalmente per ottenere una adeguata sovracompensazione. L'andamento dei diagrammi polari ottenuto con i semplici ragionamenti appena esposti è sorprendentemente somigliante a quello ricavato per via sperimentale dallo studioso di psicoacustica Prof. Davis della dbx Inc, ed adottato quale ideale teorico per la Soundfield One (fig. 10).

Nel caso DSR, l'orientamento degli altoparlanti, opportunamente filtrati, approssima un andamento simile per un ampio arco (fig. 11). Anche la Option One applica concetti simili, ma utilizzando i diagrammi di dispersione di opportuni elementi dipolari (fig. 12).

Prove



Fig. 5 - Sistema di altoparlanti Bose 901.



Fig. 6 - Sistema di altoparlanti ESB 7 06.

Prove



Fig. 7 - Sistema di altoparlanti Wharfedale Option One.



Fig. 8 - Sistema di altoparlanti dbx Soundfield One.

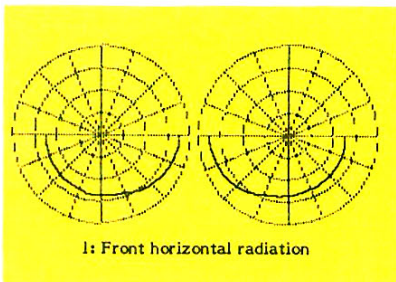


Fig. 10 - Diagramma della emissione frontale teorica delle dbx SFX-1.

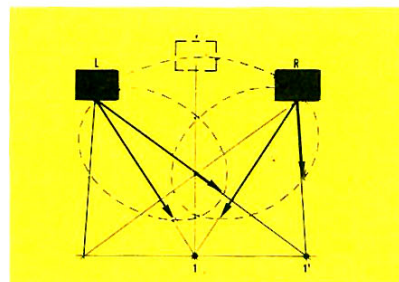


Fig. 11 - Schema amplificato della emissione DSR orizzontale alle frequenze medie e alte.

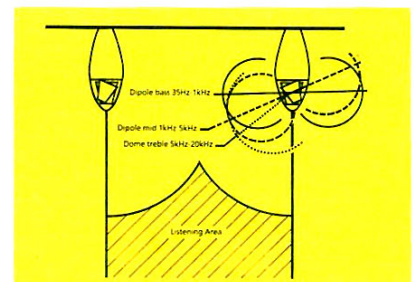


Fig. 12 - Schema semplificato della emissione dei sistemi Wharfedale Option One.

Oltre l'orizzonte

Abbiamo visto come, sotto opportune ipotesi, sia possibile ricavare un diagramma di dispersione in grado di eliminare il problema dello slittamento delle sorgenti virtuali centrali localizzabili sulla linea congiungente gli altoparlanti. Ma cosa avviene quando l'ascoltatore dalla posizione centrale localizza la sorgente come "oltre la parete"? In questo caso il punto So della fig. 9 si troverà al di là della parete e nel caso di spostamento in P la retta SoP dovrà passare più vicina a B che ad A. La soluzione più corretta sarebbe un diagramma polare che compensi solo parzialmente gli effetti dello spostamento.

E cosa dire della sorgente che da Po viene localizzata in B? Passando alla postazione P l'ascoltatore la vedrà sempre in B ed alla stessa distanza acustica soggettiva.

Lo stesso accadrà per A e la conclusione è che tutta la scena acustica ruoterà intorno ad So insieme all'ascoltatore. Ciò non è affatto realistico, anche se era esattamente il risultato che si voleva ottenere.

Nel programma stereo infatti non sono presenti informazioni sulla prospettiva che i microfoni avrebbero rilevato da una differente posizione di ripresa. Peraltro, nel caso di una scena acustica composta da sorgenti virtuali posizionate sia "davanti" che "dietro" alla parete (caso più co-

mune), una migliore simulazione della realtà può essere ottenuta ricorrendo alla sottocompensazione, che farà "ruotare meno" la scena acustica durante gli spostamenti.

Un altro problema è il seguente: cosa accade se l'ascoltatore, invece di spostarsi lungo la circonferenza, si sposta parallelamente alla parete? Accade semplicemente che si porta su altre circonferenze (ideali), alle quali corrispondono altrettanti diagrammi polari teorici ed altrettante distanze di ascolto centrali diverse. È possibile dimostrare che, nelle ipotesi prima definite, a maggiori distanze di ascolto corrisponde una minore necessità di compensazione e viceversa. È d'altronde intuitivo che per distanze di ascolto minori e movimento su circonferenze via via più piccole l'ascoltatore spostandosi dalla posizione centrale verso la parete, finirà prima o poi per trovarsi in corrispondenza di una delle due casse: in questo caso la differenza fra le sue distanze da A e da B risulterà massima. Per circonferenze via via sempre più grandi invece, un ascoltatore che si porti sulla parete vedrà entrambe le casse molto lontane e la differenza dei livelli da compensare sarà molto ridotta.

Semplici considerazioni permettono di calcolare la differenza di livello fra la direzione di minima e quella di massima emissione dei diagrammi polari appena definiti. Nel caso di distanza di ascolto PSo pari alla distanza fra le casse AB,

tale differenza risulta di 9,5 dB (sorprendentemente simile ai 10 dB rilevati sperimentalmente dalla dbx). Nel caso di $PSo = 1,5 \times AB$ la differenza fra massimo e minimo deve essere di 6 dB. Tornando al caso di movimento parallelo alla parete, si può notare che l'ascoltatore, passando da Po a P1 (fig. 9), si sposta da una circonferenza caratterizzata da una necessità di maggiore compensazione ad una a minore compensazione. L'effetto all'ascolto sarà quello della sovra-compensazione, ovvero un appiattimento della scena acustica e dei vari piani sonori.

Tenendo conto che lo spettro acustico delle sorgenti naturali distanti, normalmente contiene meno alte frequenze rispetto a quello di sorgenti ravvicinate, si può pensare di adottare una compensazione più spinta alle alte frequenze che non alle basse. Tale artificio avrà infatti l'effetto di mantenere "vicine alla parete" le sorgenti virtuali rappresentanti sorgenti reali vicine e "dietro alla parete" (per mezzo della sottocompensazione) le sorgenti virtuali che rappresentano sorgenti reali lontane.

La ricerca di soluzioni più articolate di quella semplificata qui presentata, in grado di controcompensare gli effetti secondari rilevati mediante un andamento polare differenziato per le diverse parti di spettro coinvolte, appare perciò auspicabile.

www.renatogiussani.it