

5

Tecniche stereofoniche con microfoni a zona di ripresa

I microfoni a zona (visti nel capitolo 1) possono fare eccellenti registrazioni stereo. Questo capitolo spiega le caratteristiche di molti microfoni a zona. Innanzitutto vediamo quali operazioni sono necessarie per impostare tecniche stereofoniche usando tali microfoni.

- Per una tecnica a microfoni distanziati, posizionare i microfoni ad alcune decine di centimetri fra di loro. Metterli sul pavimento o sul muro o su un pannello montato su un'asta.
- Per una tecnica coincidente, montare due microfoni a zona contrapposti su un ampio pannello, con il bordo del pannello rivolto verso la sorgente sonora.
- Per una tecnica quasi-coincidente, montare ciascun microfono a zona su un pannello separato e angolare i pannelli. Oppure usare due microfoni direzionali a zona sul pavimento, angolati e distanziati.

I microfoni a zona possono essere posizionati direttamente sul pavimento o possono essere sollevati. Analizziamo ora diverse tecniche stereo che usano entrambi i metodi.

5.1 Tecniche con microfoni a pavimento

Per registrare in stereo si possono posizionare due microfoni a zona sul pavimento. Questa tecnica dà alcuni vantaggi:

- si eliminano le cancellazioni di fase dovute alle riflessioni provenienti dal pavimento;
- si ottiene la migliore risposta in frequenza alle basse frequenze, per i microfoni a zona;
- i microfoni sono facili da posizionare;
- i microfoni sono quasi invisibili.

Nei concerti dal vivo, nascondere i microfoni è a volte la cosa più importante.

Quando si usa questa tecnica per registrare un'orchestra, gli strumenti della prima

fila sono di solito riprodotti a un volume troppo alto, a causa della loro relativa vicinanza al microfono. Gruppi musicali con una modesta estensione in profondità, come ad esempio piccoli gruppi da camera, gruppi jazz, solisti, consentono di ottenere i risultati migliori con questa tecnica.

5.1.1 Microfoni a zona posti sul pavimento e distanziati fra loro di 1 m

Test di ascolto dimostrano che tale distanza è sufficiente per avere una estensione stereo completa, quando i lati dell'insieme musicale sono angolati di 45° rispetto al punto centrale dei microfoni (fig. 5.1).

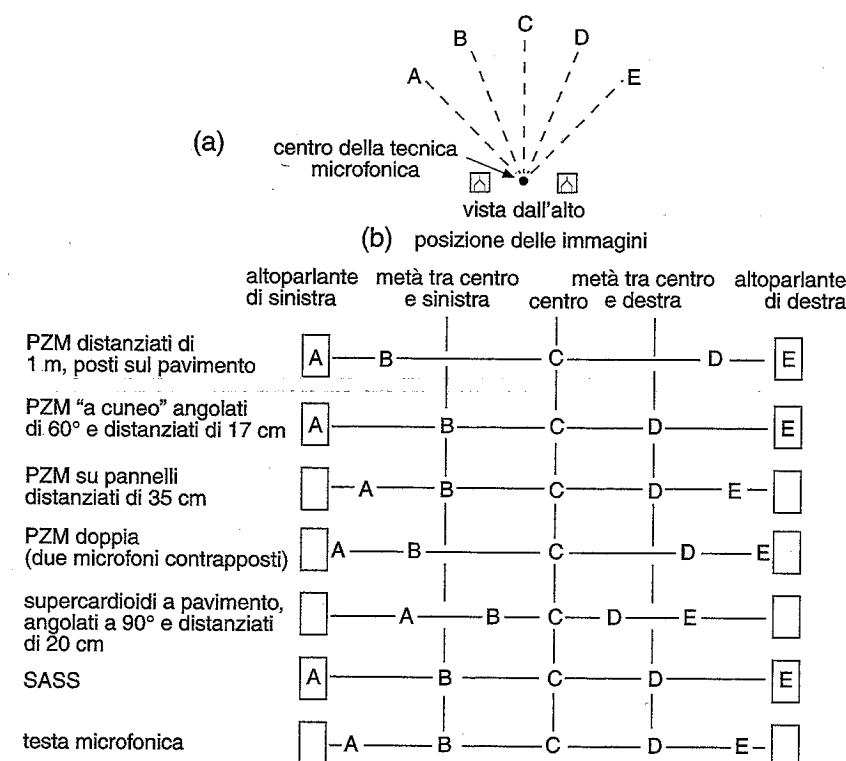


Fig. 5.1 Localizzazione stereofonica delle varie tecniche stereo su pannelli. (a) Le lettere dalla A alla E rappresentano le posizioni delle sorgenti sonore dal vivo rispetto alla tecnica microfonica. (b) Posizionamento dell'immagine stereofonica con diverse tecniche (percezione dell'ascoltatore). Le immagini da A a E corrispondono alle sorgenti dal vivo da A a E in (a).

Con tale tecnica l'estensione stereo diminuisce all'aumentare dell'estensione verticale della sorgente sonora. Per esempio, se si registra un gruppo di persone in piedi, l'estensione sarà minore rispetto allo stesso gruppo seduto. Ciò perché maggiore è l'altezza, minore è la differenza di tempo ai due microfoni.

I microfoni a zona distanziati presentano gli stessi inconvenienti dei microfoni

distanziati tradizionali: immagini scarsamente definite, possibile mancanza di mono-compatibilità e notevoli differenze di fase fra i canali. Due grossi vantaggi sono un caldo senso di ambiente e un buon effetto stereo anche per ascoltatori fuori asse. Inoltre, con una coppia di microfoni distanziati si possono usare microfoni omnidirezionali senza supporti in plexiglass. Perciò la risposta alle basse frequenze è eccellente e i microfoni non sono appariscenti.

5.1.2 Microfoni direzionali a zona posti sul pavimento

Due microfoni possono essere posizionati in modo quasi coincidente o in modo distanziato. Se si vuole ottenere la tecnica dei quasi coincidenti, si collocano i microfoni fianco a fianco sul pavimento, angolati (fig. 5.2). Si cambiano angolazione e distanza per ottenere l'estensione stereo desiderata. È un metodo efficace per registrare musicals e rappresentazioni teatrali. Ulteriori microfoni sarebbero necessari per una vasta orchestra.

Come si vede nella fig. 5.1, due supercardioidi a pavimento, angolati a 90° e distanziati di 20 cm, danno una estensione frontale ristretta. È necessaria una maggiore distanza e una maggiore angolazione per una localizzazione più accurata. La definizione dell'immagine è migliore con questa tecnica che con quella dei microfoni a zona distanziati.

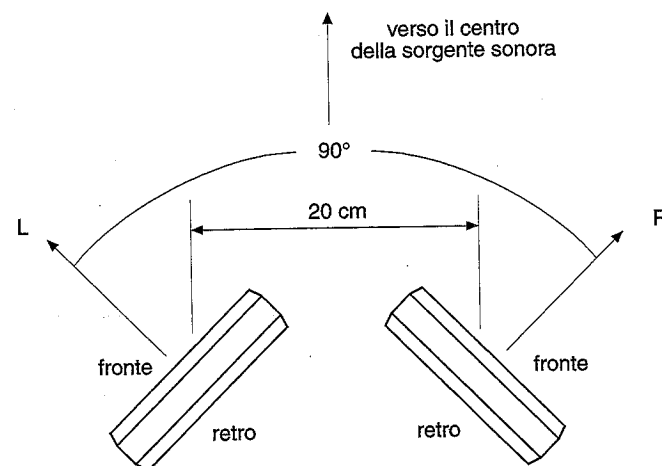


Fig. 5.2 Microfoni direzionali a zona montati sul pavimento in tecnica quasi coincidente.

5.1.3 Tecnica a L a pavimento

Viene ora presentata una tecnica PZM stereo progettata da Mike Lamm e da John Lehmann della Dove & Note Recording, Houston, Texas. Non è disponibile in commercio, ma può essere costruita, come si vede nella fig. 5.3. La disposizione dei pannelli crea diagrammi polari direzionali che sono angolati e distanziati in maniera simile alle orecchie umane. Secondo chi li ha usati "si può prendere tale tecnica, posizzionarla e farla funzionare; si ottiene un risultato abbastanza simile all'evento reale".

Sospendendo in aria, mediante cavi, questa tecnica rovesciata (cioè rivolta verso il basso) si avrà un'enfasi alle alte frequenze e una diminuzione delle basse, mentre se si posiziona sul pavimento si invertirà tale bilanciamento tonale delle frequenze.

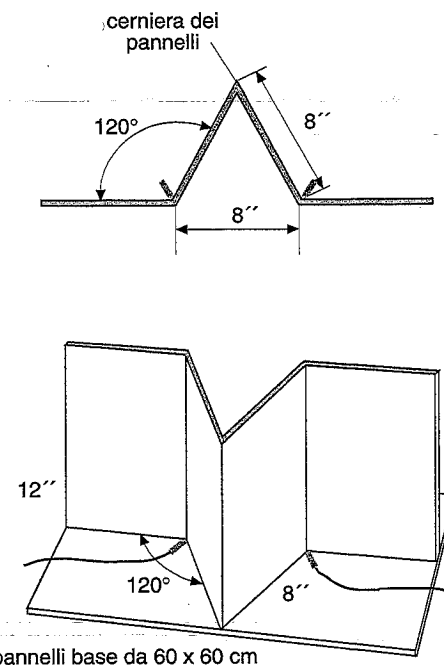


Fig. 5.3 Tecnica a L a pavimento.

5.1.4 OSS con microfoni a zona a pavimento

In questa tecnica della Josephson Engineering, due microfoni a zona sono messi ai lati opposti di un disco rigido e assorbente (Jecklin) tagliato a metà. Questa tecnica riunisce le caratteristiche della OSS, descritta nel capitolo precedente, e i vantaggi del microfonaggio a zona.

5.1.5 Microfoni a zona a pavimento configurati per M-S

La tecnica M-S può essere applicata ai microfoni a zona. Il metodo seguente fu inventato da Jerry Bruck della Posthorn Recordings. L'unità centrale è un microfono a zona omnidirezionale; quello laterale è un microfono a condensatore, bidirezionale, con membrana di piccolo diametro, montato pochi millimetri sopra l'unità centrale.

Il microfono bidirezionale è abbastanza vicino a quello a zona, in modo tale da evitare cancellazioni di fase fra suoni diretti e riflessi per uno spettro molto più ampio di quello udibile (sono stati proposti da Bruck altri sistemi che utilizzano tre trasduttori).

Dato che il microfono centrale è a zona, si ha la stessa risposta in frequenza per qualunque sorgente (non c'è colorazione fuori asse). Ciò contribuisce a una immagine ste-

reo ben definita e, dato che la capsula centrale è un condensatore omnidirezionale, ha una eccellente risposta alle basse frequenze. Il sistema ha dimensioni ridotte e viene usato per registrare piccoli gruppi o solisti. Può anche essere collocato sul coperchio del pianoforte. Non ci sono microfoni già preparati con tale sistema; occorre mettere un bidirezionale su un microfono a zona per formare la tecnica.

5.2 Tecniche con microfoni sollevati da terra

Alcune tecniche stereo usano microfoni direzionali. Come si può trasformare un microfono a zona omnidirezionale in uno direzionale? Bisogna montarlo su un pannello.

Poi si sollevano il microfono e il pannello a qualche metro dal pavimento, per registrare un grande *ensemble*. Il pannello evita che al microfono giungano suoni provenienti dal di sotto del piano. Per quanto concerne i suoni che raggiungono il retro del pannello, le basse frequenze vengono scartate in lieve misura, mentre quelle alte in grande misura.

Un pannello piccolo rende il microfono direzionale solo per le alte frequenze. Le basse frequenze diffrangono o si incurvano attorno al piccolo pannello come se questo non ci fosse. Più grandi sono le dimensioni del pannello, più direzionale sarà il microfono su tutto lo spettro dell'udibile. Quanto più grande è il pannello, tanto più basse saranno le frequenze alle quali il microfono diventa direzionale. Un microfono su un pannello quadrato è omnidirezionale per le frequenze molto basse e diventa direzionale al di sopra della frequenza F definita dalla seguente equazione:

$$F = \frac{188}{D}$$

dove D è il lato del pannello, espresso in piedi (1 piede = 30,48 cm).

I pannelli creano differenti diagrammi polari a differenti frequenze. Per esempio, con un pannello da 50 cm si ha una ripresa omnidirezionale al di sotto di 94 Hz. Alle medie frequenze il diagramma polare diventa supercardioide. Alle alte frequenze il diagramma polare si avvicina ad un emisfero (fig. 5.4).

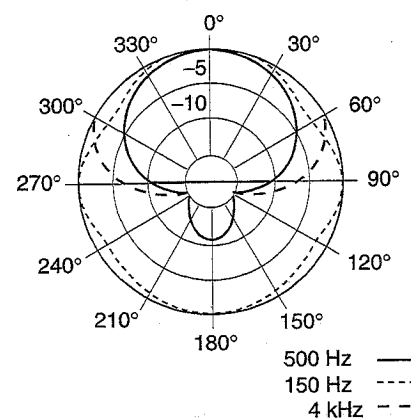


Fig. 5.4 Diagramma polare, a varie frequenze, di un microfono montato su un pannello quadrato da 50 cm di lato.

5.2.1 PZM a cuneo

Si usano due pannelli quadrati in plexiglass, di circa 60 cm di lato, puliti; con un nastro si forma una V e poi si fissa, sempre col nastro, un PZM su ciascun pannello dirigendo la punta della V verso la sorgente sonora (fig. 5.5). Così si ottiene una tecnica quasi coincidente, che dà una immagine ben definita e una localizzazione accurata. Questa soluzione è anche ampiamente mono-compatibile.

L'angolo fra i pannelli può essere cambiato per modificare il rapporto tra suono diretto e suono riverberato; maggiore è l'angolo, più spiccata è la direzionalità frontale, e più vicine appariranno le sorgenti sonore.

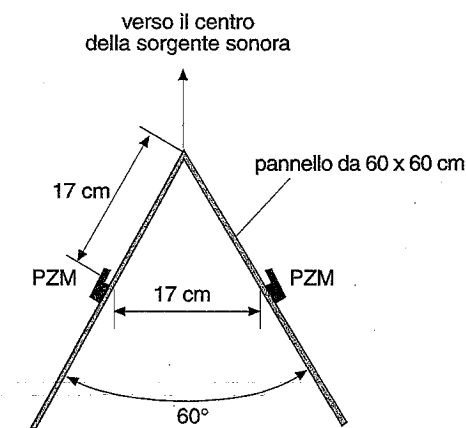


Fig. 5.5 PZM a cuneo.

5.2.2 Tecnica a doppia L

Rappresentata nella fig. 5.6, questa soluzione molto flessibile fu disegnata da Mike Lamm e da John Lehmann della Dove and Note Recording, a Houston, Texas. Anche se non è in commercio, può essere autocostruita, come già visto. Mike l'ha ampiamente usata per registrare in stereo o in quadrifonia insiemi musicali di vaste proporzioni.

I pannelli, uniti e mobili, possono essere modificati in modo da ottenere praticamente qualsiasi tipo di ripresa stereo.

5.2.3 PILLON PZM stereo shotgun

Questa tecnica fu inventata da Gary Pillon, un fonico della Rete Televisiva Statale di Oak Park, Michigan. Ogni capsula PZM è al vertice di una struttura a pannelli di forma piramidale; ciò dà un diagramma polare molto direzionale. Non è disponibile in commercio, ma può essere autocostruita come nella fig. 5.7. Si può montare su un'asta dalla parte posteriore, oppure la struttura può essere tenuta in mano, se necessario. L'immagine stereo, che in parte è il risultato della distanza di 20 cm fra le capsule, ha un'immagine simile a quella ottenibile tramite registrazione binaurale, ma con una riproduzione più realistica fra i monitor.

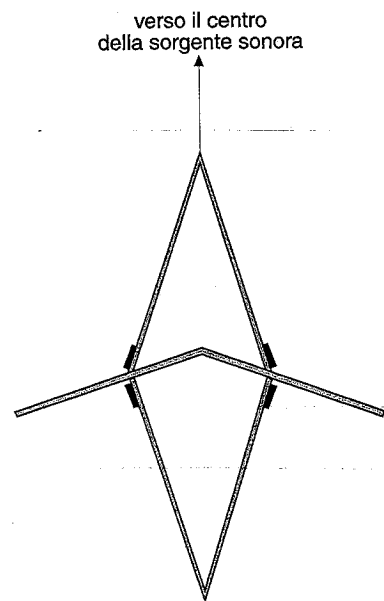
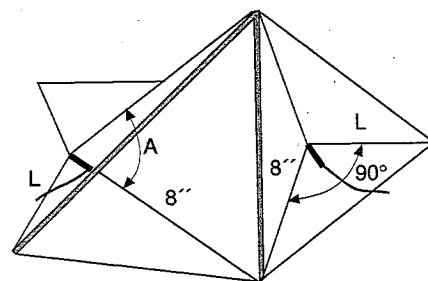


Fig. 5.6 Tecnica a L.

Idealmente questa soluzione potrebbe essere posizionata su una piattaforma Steadicam; si otterrebbe un eccellente assieme di prospettive audio e video.



$L = 20 \text{ cm}$ e $A = 90^\circ$
per uso con il parlato (E.N.G.)

$L = 30 \text{ cm}$ e $A = 120^\circ$
per uso musicale

Fig. 5.7 PZM stereo shotgun.

5.2.4 Sistema di campionamento stereo dell'ambiente SASS

È una nuova tecnica che può risolvere molti dei problemi tipici delle altre tecniche stereo. Definito "sistema di campionamento stereofonico dell'ambiente", è costituita da un microfono stereo a condensatore che usa la tecnica dei microfoni a zona. È fatta per dare un'immagine stereo altamente localizzata per monitor e per ascolto in cuffia. È mono-compatibile e quasi coincidente.

Dato che il microfono ha un design inusuale ed è un esempio di tecnologie recenti, richiede qualche spiegazione.

Configurazione SASS

Un primo tipo usa due microfoni PZM di alta qualità montati su pannelli, per rendere ciascun microfono direzionale (fig. 5.8).

Un altro tipo è simile, ma usa due BRUEL&KJAER 4006 montati a contatto; si ottiene un rumore inferiore di 10 dB.

Per ogni canale, un microfono omnidirezionale è montato molto vicino o rasente al pannello quadrato, di 12,7 cm di lato. I due pannelli sono angolati a sinistra e a destra rispetto all'asse centrale.

La diffrazione sonora di ogni pannello, assieme ad una piccola barriera di gomma fra le capsule, crea un diagramma polare direzionale alle alte frequenze. Il diagramma è rivolto a sinistra e a destra rispetto al centro, in maniera molto simile ad una tecnica quasi coincidente. Le capsule sono distanziate di 17 cm (come le orecchie umane).

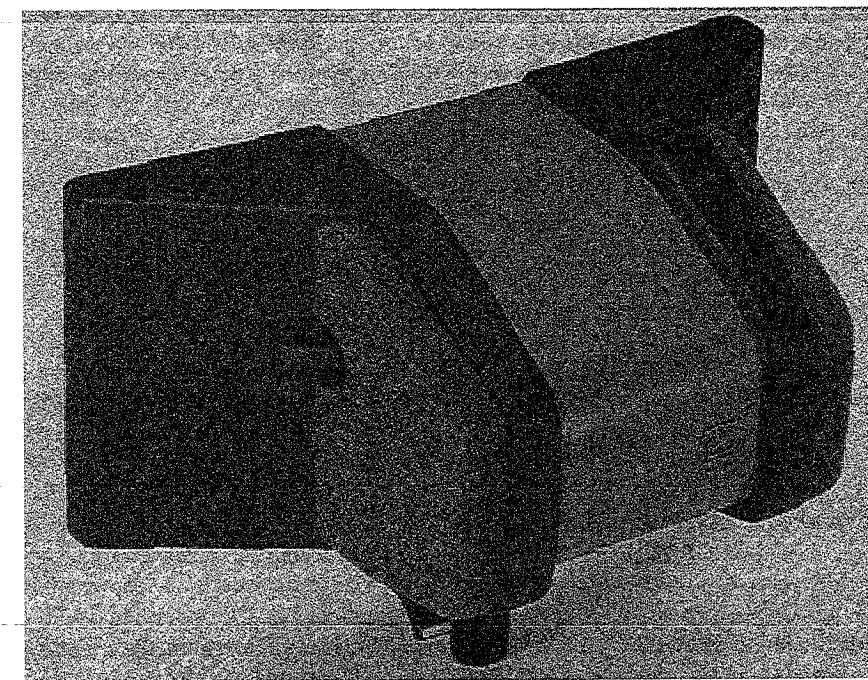


Fig. 5.8 Crown SASS-P PZM stereo. (Per gentile concessione della Crown International, Inc.).

Tali diagrammi polari e le distanze fra le capsule sono stati scelti per fornire una immagine stereo la più naturale possibile.

La barriera in gomma (*baffle*) fra le capsule limita gli scambi di informazioni acustiche fra i due lati alle alte frequenze. Anche se le capsule sono distanziate, ci sono piccole cancellazioni di fase quando i canali sono combinati in mono, a causa dell'effetto ombra del *baffle*. Cioè, anche se ci sono differenze di fase fra canali, ci sono grosse differenze di ampiezza (causate dal *baffle*) che riducono le cancellazioni di fase quando i canali sono sommati in mono.

Risposta in frequenza di una SASS

La SASS usa pannelli di piccole dimensioni; per questo motivo ci si potrebbe aspettare una risposta non corretta alle basse frequenze.

Invece, essa ha una risposta piatta andando verso le basse frequenze; non si ha il consueto calo di 6 dB. Ecco il motivo: dato che le capsule sono omnidirezionali al di sotto di 500 Hz, i loro output alle basse frequenze hanno uguali livelli. Questi output ad uguale livello vengono sommati in stereo, il che porta un aumento di 3 dB nel livello percepito alle basse. Ciò ostacola effettivamente di 3 dB la caduta usuale (di 6 dB) che si ha con piccole estensioni. Inoltre, quando il microfono è usato in un campo riverberante, il livello effettivo alle basse è incrementato di altri 3 dB perchè il diagramma è unidirezionale alle alte e omnidirezionale alle basse.

Tutti gli abbattimenti alle basse frequenze sono compensati, cosicché la reale risposta in frequenza è uniforme da 20 Hz a 20 kHz. Secondo il costruttore questo può essere provato con un test di ascolto A-B, comparando il bilanciamento tonale della SASS con la risposta piatta dell'omnidirezionale. Essi hanno la stessa sonorità alle basse frequenze.

Meccanismo di localizzazione di una SASS

Come la testa artificiale (descritta nel prossimo capitolo), la SASS localizza le immagini attraverso differenze di tempi e di spettro fra i canali. Il meccanismo di localizzazione varia con la frequenza nel modo seguente:

- al di sotto di 500 Hz la SASS recepisce i suoni in maniera uguale nei due canali, ma con un ritardo fra i canali che dipende dalla direzione;
- sopra i 500 Hz la localizzazione è dovuta alla combinazione delle differenze di tempo e di intensità.

Le differenze di intensità aumentano con l'aumentare della frequenza.

Anche se questo criterio è all'opposto di quello di Cooper-Bauck, in pratica sembra funzionare molto bene per il posizionamento naturale dell'immagine fra i monitor.

Inoltre è molto vicino al meccanismo usato per la registrazione binaurale e al tipo di sistema di ascolto delle orecchie umane. Come si è stabilito nel Capitolo 3, Theile suggerisce che i segnali di tipo binaurale sono i migliori per la riproduzione stereo.

Test di ascolto dimostrano che la SASS non mette bene a fuoco le fondamentali con un inviluppo leggermente crescente e calante attorno al 261 Hz. Comunque la SASS usa la tecnica umana di riconoscimento e localizzazione basata sulle armoniche e ignora le fondamentali.

Dato che la SASS usa solo i ritardi dei tempi di arrivo alle due capsule, la sua loca-

lizzazione alle basse frequenze può essere migliorata fra i monitor da un *Blumlein shuffler*, ideale per gli omnidirezionali ravvicinati.

Secondo David Griesinger, l'assegnazione dei ritardi mediante pan pot non funziona con la voce maschile a cui si applica un filtro passa basso al di sotto di 500 Hz.

Comunque, nel libro *Spatial Hearing*, Jens Blauert dimostra quanto detto da Wendt, che l'assegnazione dei ritardi tramite pan pot lavora a 327 Hz. L'effetto può dipendere dalla forma dell'inviluppo del segnale, dall'abilità individuale e dall'abitudine.

Vantaggi e svantaggi della SASS

Alcune caratteristiche sembrano renderla superiore alle tecniche stereo convenzionali:

- rispetto ai coincidenti, la SASS ha una risposta migliore alle basse frequenze e una maggiore ariosità o spazialità;
- rispetto ai microfoni stereo, la SASS costa molto meno, ma è relativamente ingombrante;
- rispetto a una tecnica quasi coincidente, la SASS ha una risposta migliore alle basse ed è ugualmente monocompatibile. Quando si parla all'interno di una SASS da tutte le direzioni in una stanza riverberante, si ha la stessa sonorità sia in mono che in stereo, cioè la risposta in frequenza è pressoché la stessa sia in stereo che in mono;
- rispetto a una coppia distanziata, la SASS dà immagini molto più definite e con meno differenze di fase fra i canali, rendendo più facile l'incisione di un disco da registrazioni fatte con la SASS stessa. Inoltre la SASS su una asta sola è meno ingombrante e più facile da posizionare rispetto alle tecniche con due o tre microfoni;
- rispetto alla testa artificiale usata per la registrazione binaurale, è meno visibile, dà una risposta in frequenza più piatta senza equalizzazione, dà una direzionalità frontale e presenta una migliore monocompatibilità. La sua localizzazione binaurale non è buona come quella della testa artificiale.

La SASS potrebbe essere considerata un sistema quasi binaurale perché usa molti meccanismi di localizzazione identici a quelli della testa microfonica. Una spiegazione completa della registrazione binaurale sarà data nel prossimo capitolo.

5.3 Bibliografia

1. B. Bartlett, *Boundary Microphone Application Guide*, Crown International, 1718 W Mishawaka Rd., Elkhart, IN 46517.
2. M. Lamm and J. Lehmann, "Realistic Stereo Miking for Classical Recording," *Recording Engineer Producer*, 1983 (Aug.), pp. 107-109.
3. B. Bartlett, "An Improved Stereo Microphone Array Using Boundary Technology: Theoretical Aspects," *Audio Engineering Society Preprint* No. 2788 (A1), presented at the 86th Convention, March 7-10, 1989, Hamburg.
4. M. Billingsley, "A Stereo Microphone for Contemporary Recording," *Recording Engineer Producer*, 1989 (November).
5. J. Blauert, *Spatial Hearing*, MIT Press, Cambridge, MA, 1983, pp. 206-207.

6. *Josephson Engineering Catalog*, Josephson Engineering, 3729 Corkerhill, San Jose, CA 95121.
7. J. Bruck, "The Boundary Layer Mid/Side (NVS) Microphone: A New Tool," *Audio Engineering Society Preprint* No. 2313 (C-11), presented at the 79th Convention, October 12-16, 1985, New York.
8. A. Defossez, "Stereophonic Pickup System Using Baffied Pressure Microphones", *Audio Engineering Society Preprint* No. 2352 (D4), presented at the 80th Convention, March 4-7, 1986, Montreux, Switzerland.
9. M. Billingsley, "Practical Field Recording Applications for An Improved Stereo Microphone Array Using Boundary Technology," *Audio Engineering Society Preprint* No. 2788 (A-1), presented at the 86th Convention, March 7-10, 1989, Hamburg.
10. M. Billingsley, "An Improved Stereo Microphone Array for Pop Music Recording", *Audio Engineering Society Preprint* No. 2791 (A-2), presented at the 86th Convention, March 7-10, 1989 Hamburg.
11. M. Billingsley, "Theory and Application of a New Near-Coincident Stereo Microphone Array for Soundtrack" *Special Effects and Ambience*, presented at the 89th Audio Engineering Convention, September 21-25, 1990, Los Angeles.

6

Tecniche binaurali e transaurali

Parliamo ora delle tecniche binaurali che impiegano una testa artificiale, che contiene un microfono montato rasente la superficie in ciascun orecchio. Registrando con questi microfoni e riascoltando in cuffia, si avrà la localizzazione dell'insieme reale originale e delle condizioni ambientali con sorprendente realismo.

In questo capitolo si parla anche della tecnica transaurale, che è il riascolto su monitor della registrazione binaurale, elaborata in maniera speciale per avere un suono avvolgente (*surround*) tramite l'uso di soli due monitor frontali.

6.1 Registrazione binaurale e testa artificiale

La registrazione binaurale (a due orecchie) impiega una testa artificiale (*dummy head*). Si tratta di un modello della testa umana con un microfono montato rasente a ciascun orecchio (fig. 6.1), che cattura i suoni in arrivo; i segnali dei microfoni vengono registrati e in cuffia si riascoltano esattamente i suoni come sono arrivati alle orecchie della testa microfonica (fig. 6.2).

Questa tecnica si fonda sulle seguenti premesse. Quando si ascolta una sorgente naturale in una qualunque direzione, alle orecchie arrivano due segnali monodimensionali: il suono preme sul timpano. Se in sede di ascolto si riesce a ricreare la stessa pressione sonora sul padiglione auricolare, si può riprodurre l'esperienza uditiva originale, comprese le informazioni direzionali e la riverberazione.

La registrazione binaurale e la sua riproduzione in cuffia è la tecnica, fra quelle attualmente conosciute, che dà la migliore spazialità.

La ricostruzione della sorgente sonora e dell'ambiente sono sorprendenti; spesso i suoni possono essere riprodotti tutt'attorno alla propria testa: davanti, dietro, di lato, in alto e in basso. Si può arrivare a pensare che lo strumento ascoltato stia suonando davvero nella stanza.

Gli inconvenienti sono che la testa microfonica è ingombrante, il che ne limita l'uso dal vivo nei concerti, non è monocompatibile ed è relativamente costosa.



Fig. 6.1 Testa artificiale usata per la registrazione binaurale. (Per gentile concessione della Gotham Audio Corporation).

6.1.1 Come funziona la testa artificiale

Una testa artificiale cattura i suoni come quella umana. La testa rappresenta un ostacolo per le frequenze medie e alte. Dalla parte opposta rispetto alla sorgente sonora, l'orecchio è in un'ombra sonora: la testa blocca le alte frequenze. Al contrario, dalla parte rivolta verso la sorgente sonora, c'è un incremento della pressione (un aumento nella risposta in frequenza) alle medie e alle alte frequenze.

Inoltre le pieghe nel padiglione auricolare esterno influenzano la risposta in frequenza riflettendo i suoni nel canale auricolare.

Queste riflessioni si combinano col suono diretto, provocando cancellazioni di fase (diminuzioni nella risposta) a determinate frequenze.

Nell'orecchio umano il timpano è dentro il canale uditivo, il quale è un tubo risonante. La risonanza del canale uditivo non cambia a seconda della direzione della sorgente sonora, per cui il canale non dà suggerimenti sulla localizzazione; per questa ragione non lo si mette nella maggior parte delle teste microfoniche.

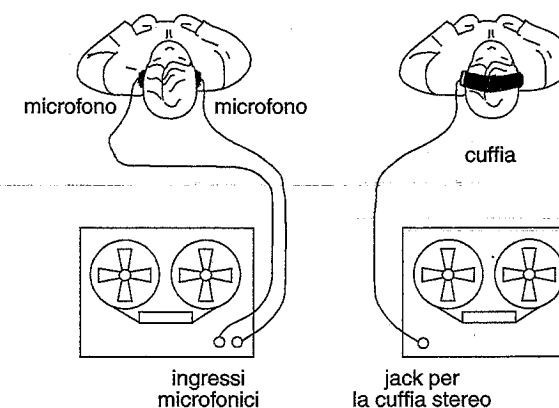


Fig. 6.2 Registrazione binaurale e riascolto in cuffia.

Di solito, il diaframma microfonico è montato rasente la testa, 4 mm dentro il canale uditivo.

Per riassumere: la testa e l'orecchio esterno provocano picchi e attenuazioni nella risposta in frequenza dei suoni ricevuti. Picchi e attenuazioni variano a seconda dell'angolo di incidenza del suono e della posizione della sorgente. La risposta in frequenza di una testa artificiale dipende dalla direzione.

In altre parole, la testa e l'orecchio esterno funzionano come un equalizzatore, il cui comportamento dipende dalla direzione della sorgente.

Ciascun orecchio cattura un diverso spettro di ampiezza e di fase, perché uno è in ombra a causa della testa e le orecchie sono distanziate. Queste differenze interaurali variano al variare della posizione della sorgente attorno alla testa.

Quando i segnali dei microfoni della testa artificiale vengono riprodotti dalle cuffie, si ascoltano le stesse differenze interaurali che la testa artificiale ha percepito. Ciò crea l'illusione di immagini posizionate in maniera corrispondente alle sorgenti sonore originali.

Fisicamente la testa artificiale è una tecnica quasi coincidente che usa microfoni posti su pannelli: la testa è il pannello e i microfoni sono montati rasenti al pannello stesso.

La testa e l'orecchio esterno creano diagrammi direzionali che variano con la frequenza. La testa distanzia i microfoni di circa 17 cm. Alcune teste artificiali comprendono le spalle ed il torso, il che aiuta la localizzazione anteriore/posteriore nell'uomo, ma può degradarla nella registrazione e nella riproduzione binaurale.

Nella tecnica quasi coincidente i microfoni sono direzionali rispetto a tutte le frequenze e non usano *baffle* fra di loro. Invece in una testa artificiale i microfoni sono omnidirezionali alle basse frequenze e unidirezionali alle alte (ciò è dovuto all'effetto *baffle* della testa).

Idealmente la testa artificiale ha la stessa solidità della testa umana, per attenuare i suoni che l'attraversano (per esempio, si usa la fibra di vetro densa: testa artificiale Aachen).

Si può sostituire la propria testa a quella artificiale mettendo dei microfoni a condensatore in miniatura nelle proprie orecchie e registrando con essi. Più la testa e le orecchie artificiali hanno la forma della testa umana, migliore è l'immagine riprodotta.

Perciò, se si registra in binaurale "con la propria testa", si potrà avere un posiziona-

mento delle immagini più preciso che con una testa artificiale. Questa registrazione avrà una risposta in frequenza non piatta a causa della diffrazione dovuta alla testa (questo concetto verrà spiegato più avanti). Un altro sostituto della testa artificiale è la sfera delle dimensioni della testa con i microfoni posizionati rasenti, dove ci sarebbero le orecchie. Questo sistema, detto Kugelflachenmikrofon, fu sviluppato da Gunther Theile per dare una migliore definizione delle immagini fra i monitor.

6.1.2 Localizzazione all'interno della testa

A volte le immagini sonore si sentono dentro alla testa piuttosto che fuori. Una delle ragioni è data dai movimenti della testa. Quando si ascolta un suono che è al di fuori della testa e si muove leggermente la testa stessa, si sentono pochi cambiamenti nelle differenze di tempi di arrivo alle orecchie. Questo è un suggerimento alla mente che il suono è fuori della testa. Piccoli movimenti della testa aiutano ad esternalizzare le sorgenti sonore. Ma la testa artificiale manca di questi suggerimenti, perché è ferma.

Ecco un'altra ragione per la localizzazione all'interno della testa: la risonanza del padiglione auricolare è disturbata dalla maggior parte delle cuffie. Il padiglione è l'ampia cavità della pinna immediatamente al di fuori del canale uditivo. Se si equalizza il segnale delle cuffie per ripristinare la risonanza del padiglione auricolare, si sentiranno le immagini al di fuori della testa.

6.1.3 Equalizzazione della testa artificiale

Una testa artificiale, così come quella umana, ha una risposta in frequenza non uniforme a causa della diffrazione della testa stessa; la diffrazione può essere descritta come il disturbo che subisce un campo sonoro da parte di un ostacolo. La diffrazione della testa e del padiglione auricolare creano una risposta in frequenza molto irregolare, di solito con un notevole picco per i suoni frontali attorno ai 3 kHz. Perciò una riproduzione binaurale nei monitor o nelle cuffie risulta molto colorata, anche senza una particolare equalizzazione. Alcune teste artificiali hanno una equalizzazione interna per compensare l'effetto della testa.

Quale è la migliore equalizzazione per farla "suonare" come un microfono a risposta in frequenza piatta e convenzionale? Sono qui di seguito proposti alcuni schemi di equalizzazione:

- equalizzazione a campo diffuso: compensa la risposta media della testa per i suoni provenienti da tutte le direzioni (come ad esempio la riverberazione in una sala da concerto);
- equalizzazione a campo frontale: compensa la risposta della testa ai suoni che arrivano di fronte, in condizioni anecoiche;
- equalizzazione a campo libero di 10°: compensa la risposta della testa ad una sorgente sonora, in condizioni anecoiche, che emette in media entro un angolo di $\pm 10^\circ$ rispetto all'asse della testa;
- equalizzazione a campo libero con sorgente a $\pm 30^\circ$: come la precedente, ma con angolo di $\pm 30^\circ$. Questa è la tipica localizzazione dei monitor stereo.

Le teste artificiali Neumann KU-81i e KEMAR usano una equalizzazione a campo diffuso, raccomandata anche da Theile. Comunque Griesinger trovò che il KU-81i aveva

bisogno di una equalizzazione ulteriore per "suonare" come un microfono Calrec Soundfield, circa +7 dB a 3 kHz e +4 dB a 15 kHz. Egli indica o questa equalizzazione o quella a 10°. La testa della Aachen, sviluppata da Gierlich e Genuit, ha equalizzazione *flat* (piatta) per suoni in campo libero frontalmente, mentre Cooper raccomanda che le teste artificiali siano equalizzate in maniera *flat* per suoni in campo libero a $\pm 30^\circ$.

Per raggiungere una risposta piatta dal microfono all'ascoltatore, l'equalizzazione della testa artificiale dovrebbe essere complementare rispetto alla risposta in frequenza delle cuffie. Se la testa è equalizzata con un vuoto attorno a 3 kHz per raggiungere una risposta piatta, le cuffie avranno un picco nella risposta attorno a tali frequenze.

6.1.4 L'immagine della testa artificiale con i monitor

Come suonerà una registrazione fatta con la testa artificiale quando la riascolteremo con i monitor? Secondo Griesinger, potrebbe suonare bene come un'altra registrazione stereofonica qualunque, con una superiore localizzazione, altezza, profondità e ambianza della stanza.

Ma essa suona anche meglio con le cuffie. Le immagini di una registrazione binaurale si vedono principalmente nell'estensione frontale quando si ascolta da monitor, ma sono tutt'intorno se si ascolta con le cuffie.

Genuit e Bray riferiscono che si ascolta una maggiore riverberazione con i monitor che con le cuffie, e ciò è dovuto a un fenomeno detto "soppressione del riverbero binaurale". Per questa ragione è importante monitorare la registrazione sia con le cuffie che con i monitor. Griesinger nota che una testa artificiale deve essere posizionata relativamente vicino all'insieme musicale per produrre nei monitor un adeguato rapporto tra suono diretto e suono riverberato.

Questo posizionamento dà una eccessiva separazione stereo, con un vuoto nel mezzo. Comunque, l'immagine centrale può essere resa più "solida" enfatizzando la frequenza media (di solito indicato col termine *presence*) (vedere l'equalizzazione raccomandata da Griesinger sopra).

Anche se la registrazione effettuata tramite testa artificiale può dare una ottima immagine nell'ascolto in cuffia, essa produce una spazialità inadeguata alle basse frequenze nell'ascolto da monitor, anche se si usa una equalizzazione spaziale (l'equalizzazione spaziale è stata discussa nel capitolo 3).

Un aumento alle basse frequenze nel segnale differenza L - R di circa 15 dB a 40 Hz e di 1 dB a 400 Hz può migliorare la separazione alle basse frequenze nell'ascolto da monitor.

6.2 Stereo transaurale

Sarebbe ideale ascoltare l'effetto binaurale senza doversi mettere le cuffie. Cioè sarebbe preferibile usare i monitor per produrre immagini tutt'attorno a noi. Le nostre orecchie necessitano solo di due monitor per sentire il suono avvolgente e sembra quindi che dovremmo essere in grado di produrre tale effetto con due monitor solamente. Infatti ciò è possibile e questo procedimento è chiamato *stereo transaurale*.

Lo stereo transaurale converte il segnale binaurale di una testa artificiale in un segnale di tipo *surround sound*, che viene emesso da due monitor. Se ciò è fatto correttamente, si possono sentire suoni in ogni parte attorno alla testa, con due soli monitor frontali. Vediamo ora come funziona.

6.2.1 Come funziona lo stereo transaurale

Quando si ascolta musica in cuffia, l'orecchio sinistro ascolta solo il segnale sinistro; l'orecchio destro solo quello destro. Ma quando si ascolta nei monitor, c'è uno scambio di informazioni acustiche attorno alla testa (come si vede nella fig. 6.3). L'orecchio destro ascolta il segnale non solo dal monitor destro, ma anche il segnale del monitor sinistro il cui segnale si muove attorno alla testa. Il convertitore transaurale cancella il segnale che arriva all'orecchio destro dal monitor sinistro e cancella il segnale che arriva all'orecchio sinistro dal monitor destro. Cioè cancella gli scambi di informazioni fra ciascun monitor e l'orecchio opposto, in modo che l'orecchio destro ascolti solo ciò che proviene dal monitor destro. Questo risultato è simile all'ascolto in cuffia, ma senza il fastidio fisico che le cuffie stesse possono provocare. La cancellazione degli scambi di informazioni incrociati può essere applicata sia prima che dopo la registrazione.

La fig. 6.4 mostra uno schema a blocchi semplificato di un cancellatore di informazioni incrociate. Il convertitore transaurale funziona in modo che un segnale equalizzato e in ritardo viene mandato incrociato al canale opposto e sommato con opposta polarità.

Questo scambio elettronico cancella gli scambi acustici che ci sono durante il riascolto con i monitor. L'equalizzazione "antiscambio" è la differenza in risposta in frequenza alle due orecchie dovuta alla diffrazione della testa. Il ritardo (*delay*) è la differenza di tempi di arrivo fra le orecchie. L'equalizzazione e il ritardo dipendono dall'angolo di inclinazione dei monitor, che è di solito di 30°.

La fig. 6.5 mostra come funziona la cancellazione incrociata. Supponiamo di voler fare ascoltare il segnale del canale sinistro solo all'orecchio sinistro. Cioè vogliamo cancellare il suono del canale sinistro che raggiunge l'orecchio destro.

- L è il segnale diretto dal monitor sinistro all'orecchio sinistro;
- R è il segnale diffratto dalla testa (ritardato ed equalizzato) dal canale sinistro all'orecchio destro;
- $-R$ è il segnale che cancella lo scambio di informazioni; è la versione equalizzata, ritardata ed invertita del segnale L.

I segnali R e $-R$ si sommano in controfase (quindi si cancellano) nell'orecchio destro, cosicché il segnale L viene sentito solo dall'orecchio sinistro. Da notare che il segnale cancellato stesso è diffratto dalla testa all'orecchio opposto e quindi deve essere esso stesso cancellato.

6.2.2 Storia dello stereo transaurale

Bauer fu il primo a suggerire l'impiego di questo sistema nel 1961. Atal e Schroeder furono i primi a sperimentare lo stereo transaurale nel 1962. Essi usarono un computer per equalizzare ed inviare in maniera incrociata i due canali binaurali e riascoltarono il risultato in una camera anecoica. Il programma del computer simulò un numero di complicati filtri a risposta di impulso finito. Se l'ascoltatore si muoveva anche di pochi centimetri dal punto ideale (*sweet spot*) per avere la migliore immagine sonora, l'effetto si perdeva. Comunque Schroeder riferì che l'effetto di avvolgimento era "tutto tranne che sorprendente".

Verso la fine degli anni '70, la JVC fece una dimostrazione di prototipi di processore bifonico che produceva effetti simili. La JVC fece anche delle ricerche per un sistema a quattro canali, detto Q-bifonico, che usava due teste microfoniche, una posizionata esattamente di fronte all'altra con un baffle in mezzo. Le ricerche di Matsushita portarono

ad un sistema di controllo della localizzazione del suono Ramsa, dotato di joystick per l'indirizzamento del suono avvolgente.

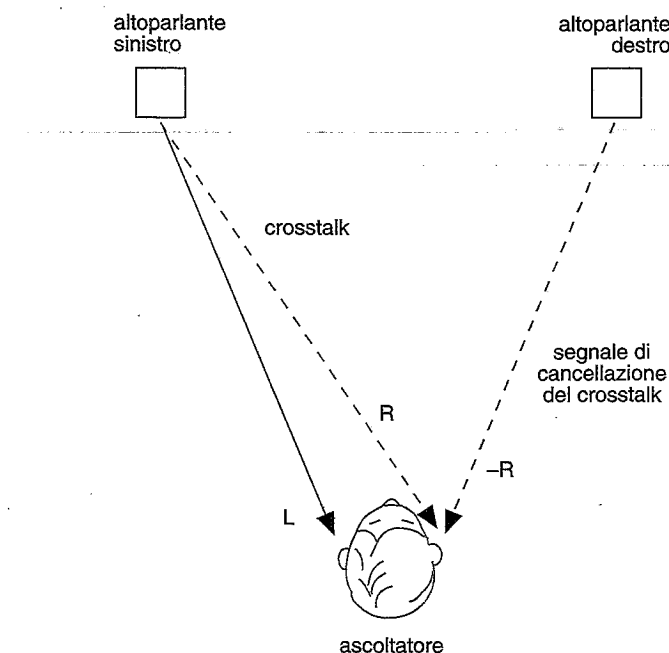


Fig. 6.3 Scambio di informazioni acustiche interaurali nell'ascolto stereo.

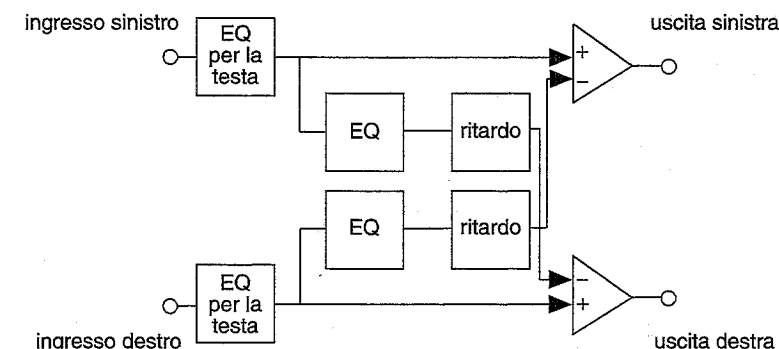


Fig. 6.4 Cancellatore di scambio di informazioni.

6.2.3 Il cancellatore transaurale di Cooper e Bauck

Recentemente Cooper e Bauck hanno semplificato i filtri di cancellazione incrociata in filtri a fase minima tipo shuffler. Questo fa sì che il circuito sia realizzato con pochi amplificatori operazionali o con un processore digitale di segnale. Essi semplificarono

ulteriormente i filtri alle alte frequenze, il che allargò la "zona ideale" per una buona immagine.

Inoltre, scoprirono che l'ascolto in camera anecoica non è necessario: basta posizionare i monitor a 30 + 60 cm dal muro per avere le prime riflessioni almeno a 2 ms.

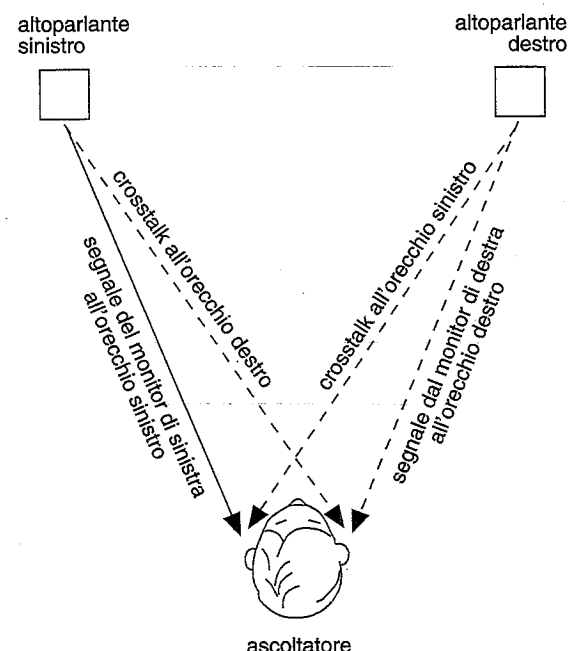


Fig. 6.5 Cancellazioni degli scambi di informazione vista dal di sopra dell'ascoltatore.

Salava raccomanda di usare monitor ravvicinati quando si usa lo stereo transaurale, per avere immagini più accurate e per essere indipendenti dal tipo di stanza usata per l'ascolto.

Il circuito di Cooper e Bauck genera differenze di ampiezza fra canali e differenze di fase variabili a seconda della frequenza. Si dice che queste differenze fra canali generino differenze interaurali come quelle prodotte da suoni reali in diverse direzioni.

Fondamentalmente il loro circuito è formato da filtri e sezioni di somma e differenza. I filtri sono necessari per simulare la diffrazione della testa, poiché lo spettro delle informazioni acustiche incrociate attorno alla testa dipende dalla diffrazione della testa stessa. Due tipi di filtri sono usati indipendentemente: i filtri per la diffrazione della testa e i filtri anti-scambio di informazioni.

Il circuito corrente compensa per lo scambio di informazioni in ambito sferico fino a 6 kHz. Dato che la diffrazione per una testa è diversa da quella per una sfera, ci si aspetterebbero diversi risultati dipendenti dai modelli di diffrazione usati. Di solito l'equalizzazione incrociata è basata sulla risposta in frequenza della testa per una sorgente angolata di 30° rispetto al centro, dove è posizionato, nella maggioranza dei casi, un monitor stereo.

I loro circuiti transaurali possono essere usati in molte maniere:

- una parte del sistema di registrazione può essere utilizzata per fornire una riproduzione tridimensionale della musica e l'ambiente della sala da concerto. Per

registrare, si possono usare o una testa artificiale, o un microfono stereo sferico, o altri sistemi;

- sintesi binaurale. È uno shuffler inverso che sintetizza i segnali binaurali da un segnale mono. La sintesi binaurale è l'inverso della cancellazione degli scambi di informazione. Uno shuffler inverso funziona da filtro incrociato che imita lo scambio di informazioni che avviene quando una persona ascolta i monitor stereo.

Un'applicazione della sintesi binaurale prevede l'uso del pan pot per ottenere un suono avvolgente negli studi di registrazione. Il fonico può assegnare col pan un segnale mono (da una traccia su nastro) ovunque attorno all'ascoltatore. Un'altra applicazione consiste nel processare i segnali microfonic convenzionali per simulare a livello uditivo la trasmissione attorno alla testa. Ciò crea una registrazione binaurale senza aver usato una testa artificiale.

Un sintetizzatore binaurale è stato sviluppato da Gierlich e da Genuit.

- Monitor virtuali. Queste sono immagini transaurali sintetizzate per simulare monitor in posizioni desiderate.

Un'applicazione è un monitor diffusore per TV stereo e "box di incremento": i loro monitor così ravvicinati si possono far "suonare" ampiamente spazializzati. Il circuito potrebbe essere in ogni TV o in ogni stazione di trasmissione o in registrazioni preprocessate. Boers descrive un monitor diffusore più semplice, che utilizza scambi di informazioni in controfase. Un'altra applicazione suggerita da Cooper è un diffusore per teatri con canale centrale virtuale.

6.2.4 Processore transaurale Lexicon

Un dispositivo costruito applicando i principi transaurali è il processore digitale Lexicon CP-1. Questa unità non professionale, dotata di tecnica *surround sound*, può processare (in tecnica transaurale) una registrazione binaurale (fra altri programmi). Basata sugli studi di David Griesinger, simula monitor laterali usando cancellazioni incrociate e, come i metodi di Atal e Schroeder, il CP-1 cancella il segnale che viaggia attorno alla testa dell'ascoltatore e anche il segnale usato per la prima cancellazione.

Griesinger dice che la "zona ideale" per la miglior immagine con il CP-1 è ampia solo 5 cm, ma che il modo binaurale "ci dà la più realistica riproduzione dell'altezza, della profondità e il miglior avvolgimento sonoro".

6.2.5 Altri sistemi di surround sound

Vediamo alcuni recenti sistemi di *surround sound*:

- unità di controllo Ambisonics, prodotta da Audio Design. Decodifica i segnali di microfoni AMS Calrec Soundfield (descritti nel capitolo 4). Sono necessari quattro monitor per creare l'effetto avvolgente;
- Q-sound sviluppato da Lawrence G. Ryckman, Dan Lowe e John Lees della Archer International Developments a Calgary, Canada, il cui produttore era Jimmy Iovine e l'ingegnere Shelley Yakus. Usando un convertitore A/D, computer e software, il sistema permette al fonico di "panpottare" il segnale fino a 320° attorno all'ascoltatore. Basato su un modello simulato al computer dell'orecchio umano, il procedimento viene attuato durante il mixaggio e richiede solo due monitor senza decodificatore durante la riproduzione;

- 3D audio, sviluppato da Pete Myers e Ralph Schaefer. Viene elaborato da un potente computer. È un procedimento complesso che viene messo in atto durante la registrazione ed è basato sull'orecchio umano;
- BASE (*Bedini Audio Spacial Environment*), sviluppato da John Bedini e distribuito dalla Gamma Electronics. Il suo processore separa il segnale stereo in componenti somma e differenza. Si può spostare l'immagine da parte a parte, in avanti e indietro. Anche se il B.A.S.E. non dà un suono realmente avvolgente; si dice che enfatizza la spazialità e la profondità.

L'unità professionale dal costo di 6.000 \$ è usata solo in fase di registrazione, la versione commerciale permette all'utilizzatore il controllo delle caratteristiche spaziali delle registrazioni commerciali;

- Sound Retrieval System di Arnold Klayman, un fonico della Hughes Aircraft (sistema di recupero sonoro). Usa l'equalizzazione per imitare il modo in cui il suono entra nell'orecchio umano da diverse distanze e angoli. La Sony ha di recente incorporato questo sistema nella nuova linea di televisioni stereo XBR;
- il processore Sound-Surround Panasonic SY-DS1 installato in TV e che dà suono avvolgente tramite due amplificatori/altoparlanti posti dentro il telaio del processore;
- il processore Shure, basato sulle ricerche di Steve Julstrom. L'unità è un decodificatore per home video che usano il DolbyStereo/Dolby Surround usando monitor che circondano l'ascoltatore;
- ITE/PAR recording (risposta acustica nel padiglione auricolare). Questo sistema fu sviluppato da Don e Carolyn Davis della Synergetic Audio Concepts. Due microfoni "sonda" di alta qualità sono inseriti nella zona uditiva vicina al timpano nel canale auricolare di un ascoltatore (in futuro l'ascoltatore potrà essere sostituito da una testa microfonica). I segnali dei due microroni sono equalizzati per avere una risposta in frequenza piatta in campo diffuso quando vengono montati nelle orecchie.

Durante il riascolto della registrazione si ascolta da quattro monitor: due davanti (come per un normale stereo) e altri due ai lati rivolti verso le orecchie. Questo posizionamento dovrebbe ridurre le prime riflessioni. Si dice che i monitor laterali servano per mascherare lo scambio di informazioni fra orecchie per avere un effetto simile alle cuffie. Ciò crea un effetto di suono avvolgente usando registrazioni binaurali.

Tutti questi sviluppi promettono un futuro interessante per la riproduzione ad alta fedeltà. Anche se la registrazione stereo si è continuamente migliorata, non può ancora mettere l'ascoltatore nella sala da concerto. Il motivo è che tutte le riverberazioni della sala sono riprodotte in alto, frontalmente, fra i monitor e non tutto attorno all'ascoltatore così come avviene nella sala da concerto. La quadrafonia e il suono surround possono simulare il riverbero attorno all'ascoltatore, ma richiedono monitor aggiuntivi e amplificazione di potenza. Lo stereo transaurale fa ciò con due soli monitor. Può essere considerato il maggiore sviluppo nell'audio dall'avvento della registrazione digitale.

6.3 Bibliografia

1. E Geil, "Experiments with Binaural Recording," *db Magazine*, 1979 (June), pp. 30+35.
2. S. Peus, "Development of a New Studio Artificial Head," *db Magazine*, 1989(June), pp. 34+36.

3. J. Sunier, "A History of Binaural Sound," *Audio*, 1989 (March), pp. 36+46.
4. J. Sunier, "Binaural Overview: Ears Where the Mics Are, Part 1," *Audio*, 1989 (Nov.), pp. 75+84.
5. J. Sunier, "Binaural Overview: Ears Where the Mics Are, Part 2," *Audio*, 1989 (Dec.), pp. 48+57.
6. K. Genuit e W. Bray, "The Aachen Head System: Binaural Recording for Headphones and Speakers," *Audio*, 1989 (Dec.), pp. 58+66.
7. H. Moller, "Reproduction of Artificial-Head Recordings through Loudspeakers," *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 37, No. 1/2, 1989 (Jan./Feb.), pp. 30+33.
8. D. Griesinger, "Equalization and Spatial Equalization of Dummy Head Recordings for Loudspeaker Reproduction," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 37, No. 1/2, 1989 (Jan./Feb.), pp. 20+29.
9. D. Cooper and J. Bauck, "Prospects for Transaural Recording," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 37, No. 1/2, 1989 (Jan./Feb.), pp. 3+19.
10. J. Eargle, *Sound Recording*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1976, Chaps. 2 and 3.
11. B. Bauer, "Stereophonic Earphones and Binaural Loudspeakers," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 9, No. 2, 1961 (Apr.), pp. 148+151.
12. M. Schroeder e B. Atal, "Computer Simulation of Sound" Transmission in Rooms," *IEEE Convention Record*, Part 7, 1963, pp. 150+155.
13. P. Damaske, "Head-Related Two-Channel Stereophony with Loudspeaker Reproduction," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 50, No. 4, 1971, pp. 1109+1115.
14. A. Clegg, "The Shape of Things to Come: Psycho-acoustic Space Control Technology," *db*, 1979 (June), pp. 27+29.
15. T. Salava, "Transaural Stereo and Near-Field Listening," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 38, No. 1/2, 1990 (Jan./Feb.), pp. 40+41.
16. D. Daley, "3-D Audio, Part 1," *Mix*, 1990 (Feb.), pp. 43+46.
17. S. Julstrom, "A High-Performance Surround Sound Process for Home Video," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 35, No. 7/8, 1987 (July/Aug.), pp. 536-549.

Un catalogo sulla registrazione binaurale è disponibile presso *The Binaural Source*, Box 1727, Ross, CA 94957, Tel. (415) 457-9052.