

Un originale ed economico sistema di diffusione sonora

PANNELLI DI BESSEL

a cura della Redazione

I pannelli di Bessel, il cui principio di funzionamento si riallaccia alle note funzioni di Bessel applicate in questo caso al campo elettroacustico, sono realizzati con altoparlanti economici standard. Le loro caratteristiche di direzionalità sonora sono tali da consigliarne l'impiego in cinema, teatri e luoghi all'aperto

I pannelli di Bessel non sono altro che sistemi di collegamento di altoparlanti capaci di produrre una distribuzione *radiale* dei suoni. Il fatto di maggior rilievo è che ciò si ottiene, impiegando altoparlanti standard, e pertanto a basso costo. Questi sistemi non richiedono componenti attivi o passivi, e sono particolarmente adatti a soddisfare le esigenze di acustica richieste da locali di grandi dimensioni come cinema, teatri, e in genere tutti i sistemi di diffusione sonora all'aperto.

I sistemi convenzionali di diffusione sonora di grande potenza (200 W e oltre) utilizzano di solito o un altoparlante di grandi dimensioni oppure "cortine" di più altoparlanti. Questi sistemi presentano notevoli limitazioni. Cominciamo con gli altoparlanti di grandi dimensioni; questi, per prima cosa sono molto costosi, secondariamente, gli ampi movimenti necessari al cono per produrre le forti intensità sonore richieste producono severi fenomeni di distorsione, specialmente alle frequenze elevate; queste distorsioni sono percepibili in quei cinema nei quali vengono impiegati sistemi di diffusione audio basati su un unico altoparlante.

Le "cortine" a più altoparlanti tendono dal canto loro a concentrare i suoni su un fascio limitato e con i lati paralleli: più la frequenza è elevata, più sottile sarà questo fascio, per cui le persone che si trovano al di fuori del fascio per-

cepiranno suoni con bassa qualità e intensità.

Questo degrado del suono diventa maggiormente pronunciato via via che aumenta il numero degli altoparlanti impiegati.

Da tempo però si sapeva che era possibile, sempre ricorrendo a "cortine" di altoparlanti, realizzare una distribuzione *radiale* o meglio a *settore circolare* dei suoni qualora gli altoparlanti venissero collegati tra loro in base ai cosiddetti *coefficienti di Bessel*. Secondo questo principio, l'ingresso ad un altoparlante (m) possiede un "fattore pesante" $J_m(x)$, vale a dire, la funzione di Bessel di ordine m. Sfortunatamente, questi "fattori pesanti" sono costituiti da numeri frazionari, e di conseguenza, l'attuazione pratica di questi sistemi richiedeva complicati circuiti analogici o digitali.

È per questo motivo che il sistema di diffusione sonora mediante i pannelli di Bessel non ha mai potuto trovare una attuazione pratica, commercialmente accettabile.

Ora i pannelli di Bessel si possono facilmente realizzare

Ricerche effettuate nei laboratori della Philips hanno potuto dimostrare che la complicazione alla quale abbiamo accennato più sopra poteva essere aggirata scegliendo per gli altoparlanti che si trovano *all'estremità* della fila,



un fattore pesante pari a 1, e fattori pesanti più elevati per quelli che si trovano *all'interno* della fila di altoparlanti.

Si è così visto che per *cinque* altoparlanti sistemati su un pannello, uno dopo l'altro, i fattori pesanti sono i seguenti:

$$A : B : C : D : E = 1 : 2n : 2n^2 : -2n : 1$$

Assegnando a *n* il valore di 1, l'espressione precedente diventerà:

$$A : B : C : D : E = 1 : 2 \times 1 : 2 \times 1^2 : -2 \times 1 : 1$$

Semplificando avremo:

$$A : B : C : D : E = 1 : 2 : 2 : -2 : 1$$

Ciascun altoparlante dovrà distare da quello vicino della fila di una distanza pari a *d* (che dovrà essere la più ridotta possibile).

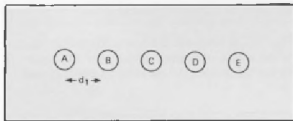
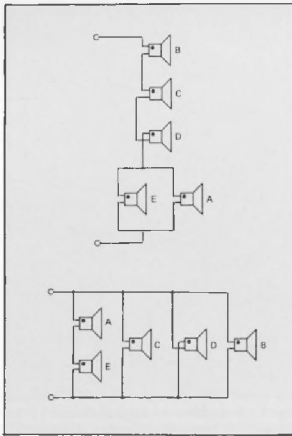


Fig. 1 - Configurazione di principio di un pannello di Bessel formato da 5 altoparlanti. La distanza d_1 deve essere la più piccola possibile fra due altoparlanti. I fattori pesanti degli altoparlanti che si trovano alle due estremità (rispettivamente A ed E) devono essere uguali a 1, mentre quelli degli altoparlanti che si trovano all'interno del pannello devono essere superiori a 1.

Fig. 2 - Collegamento degli altoparlanti in un pannello di Bessel formato da 5 altoparlanti. Il fattore pesante di segno negativo di D significa che bisogna invertire la polarità di collegamento dell'altoparlante. Il puntino indica il reoforo positivo dell'altoparlante, ed è indicato solitamente con vernice rossa.



La disposizione standard degli altoparlanti in questo pannello di Bessel a cinque altoparlanti è indicata in *figura 1*. I 5 altoparlanti potranno essere collegati in due differenti maniere come riportato in *figura 2*.

Possono essere impiegati altoparlanti standard con impedenza di 8Ω .

Nei due circuiti riportati in *figura 2*, gli altoparlanti E e A (fattore pesante pari a 1) assorbono metà corrente degli altoparlanti B, C e D (fattore pesante pari a 2). Il fattore pesante di segno negativo per l'altoparlante D si ottiene invertendo la polarità di collegamento di questo altoparlante. La scelta di uno piuttosto che dell'altro dei collegamenti riportati in *figura 2* dipenderà esclusivamente dal valore dell'impedenza di uscita dell'amplificatore di potenza utilizzato.

Come si vede, questi sistemi di diffusione sonora di potenza sono facili da

realizzare, in quanto richiedono solo un pannello di legno e ovviamente, gli altoparlanti da fissare sul medesimo. Questi pannelli (pannelli di Bessel) producono una distribuzione radiale dei suoni pressoché identica a quella che si avrebbe utilizzando un solo altoparlante di potenza.

Facciamo un altro esempio:

Per un sistema a sette unità, i fattori pesanti saranno i seguenti:

$$A : B : C : D : E : F : G = 1 : 2n : 2n^2 : n^3 - n : -2n^2 : 2n : -1$$

Ponendo $n = 1$, l'espressione precedente diventerà

$$A : B : C : D : E : F : G = 1 : 2 \times 1 : 2 \times 1^2 : 1^3 - 1 : -2 \times 1^2 : 2 \times 1 : -1$$

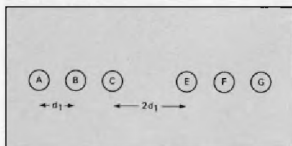


Fig. 3 - Pannello di Bessel formato da 6 altoparlanti (i fattori pesanti sono in realtà 7).

che semplificata sarà:

$$A : B : C : D : E : F : G = 1 : 2 : 2 : 0 : -2 : 2 : -1$$

Nella suddetta uguaglianza, il fattore pesante 0 ($n^3 - n = 1^3 - 1 = 0$) sta ad indicare che l'altoparlante D può essere eliminato, per cui in pratica questo sistema a 7 fattori pesanti richiederà soltanto sei altoparlanti.

La disposizione relativa alla suddetta uguaglianza è riportata in figura 3; anche in questo caso, come indicato in figura 4, sono possibili due differenti modi di collegamento degli altoparlanti.

Altro esempio

I fattori pesanti relativi a nove unità sono i seguenti:

$$1:2n:2n^2:n^3-n:$$

$$: \frac{(n^4-1)}{4} - 2n^2 : -n(n^3-2) : 2n^2 : -2n : 1$$

Ponendo $n = 1$, ed effettuando le solite operazioni e semplificazioni, la suddetta uguaglianza diventerà:

LE FUNZIONI DI BESSEL

Federico Guglielmo Bessel (1784-1846) fu un matematico e un astronomo tedesco. Dette una sistemazione definitiva alle funzioni dette appunto di Bessel in occasione di studi e ricerche condotte da lui sulla eliocentricità, (la teoria cioè in base alla quale il sole è il centro del sistema solare). Alle funzioni di Bessel si ricorre per spiegare molti fenomeni della fisica; per esempio, per lo studio accurato delle vibrazioni di una membrana tesa, per capire come avviene il trasporto del calore in un cilindro, il "cammino" delle onde elettromagnetiche lungo fili conduttori, la diffrazione della luce, la teoria dell'elasticità e fenomeni di idrodinamica. Le funzioni di Bessel assomigliano come andamento alle funzioni di seno e coseno decrescenti, ma sono più complicate.

$$1 : 2 : 2 : 0 : -2 : 0 : 2 : -2 : 1$$

La disposizione degli altoparlanti richiesta da questo sistema è simile a quelle riportate nelle figure 1 e 3; i relativi collegamenti sono simili a quelli indicati rispettivamente nelle figure 2 e 4.

Combinazioni di pannelli di Bessel

È possibile realizzare combinazioni di pannelli di Bessel per dare differenti distribuzioni di suono anche in senso verticale. Una siffatta combinazione è

indicata in figura 5; il numero riportato all'interno di ciascun circoletto sta ad indicare il relativo fattore pesante, e di conseguenza anche il corrispondente altoparlante. Ognuno di questi pannelli consente come abbiamo visto, di ottenere una distribuzione radiale del suono in senso orizzontale. La distribuzione del suono in senso verticale è data invece dalla combinazione di tre pannelli, e risulterà concentrata al livello (altezza) dei pannelli medesimi.

È anche ovvio che maggiori saranno le file degli altoparlanti collegati in questa maniera, e più pronunciata sa-

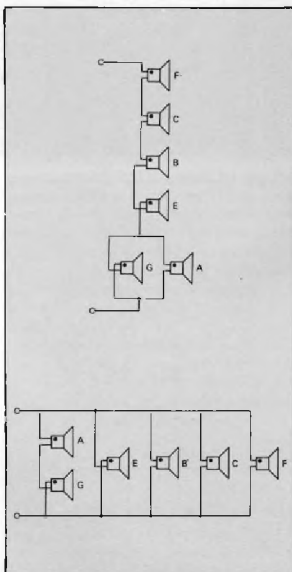


Fig. 4 - Collegamento degli altoparlanti in un pannello di Bessel formato da 6 altoparlanti.

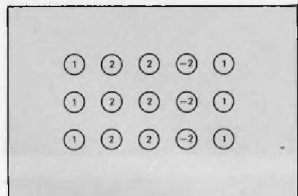


Fig. 5 - Tre pannelli di Bessel disposti in maniera da avere una concentrazione del suono in senso verticale pari all'altezza dei pannelli.

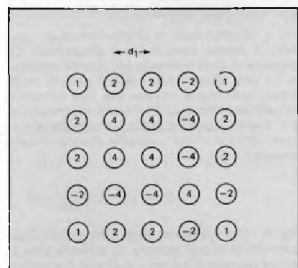


Fig. 6 - Disposizione di pannelli di Bessel in maniera da ottenere una distribuzione emisferica del suono.

rà la concentrazione del suono al livello degli altoparlanti.

Questi assiemi di pannelli di Bessel sono molto adatti per i cinema e per i teatri dove il suono deve essere concentrato al livello dell'uditorio.

Il sistema riportato in figura 6 dà invece una distribuzione semisferica del suono, in quanto a differenza della fig. 5, sia le "file" che le "colonne" di altoparlanti (quelli cioè disposti in senso verticale) risultano collegate secondo le funzioni di Bessel. Questo sistema può essere realizzato abbastanza facilmente impiegando altoparlanti con impedenza rispettivamente di 4 Ω e 8 Ω .

Un'altra combinazione possibile è riportata in figura 7a. Qui, la "fila" degli altoparlanti è formata da 5 pannelli di Bessel; in figura 7b gli stessi pannelli utilizzati nella disposizione riportata in 7a sono disposti in maniera da realizzare una certa sovrapposizione. In figura 7c infine abbiamo un'unica fila di pannelli che danno la stessa uscita della disposizione della figura 7b, e dove i fattori pesanti sono stati ottenuti mediante semplice somma dei fattori pesanti che figurano in ciascuna colonna della disposizione di figura 7b.

Le figure da 5 a 7 danno un'idea delle combinazioni possibili realizzabili im-

1	2	2	0	-2	2	-1
2	4	4	0	-4	4	-2
2	4	4	0	-4	4	-2
0	0	0	0	0	0	0
-2	-4	-4	0	4	4	2
2	4	4	0	-4	4	-2
-1	-2	-2	0	2	-2	1

Fig. 8 - Combinazione di pannelli di Bessel.

piegando pannelli di Bessel a 5 unità. Ovviamente, strutture analoghe potranno essere realizzate impiegando pannelli di Bessel formati da 7 oppure 9 unità. Il sistema scelto dipenderà naturalmente dalla potenza di uscita dell'amplificatore, dalla distribuzione sonora desiderata e dal valore dell'impedenza di uscita dell'amplificatore o degli amplificatori utilizzati.

I fattori pesanti delle unità di un dato sistema vengono di solito scelti in maniera da essere il più possibile uguali tra loro, e questo per assicurare un carico uniforme agli altoparlanti.

Il numero delle combinazioni possibili è in realtà molto più grande di quel-

lo indicato per il fatto che ciascun altoparlante riportato nei pannelli delle figure 5...7 può, singolarmente, essere sostituito sia da un sistema di altoparlanti a più canali (woofer/tweeter), sia da pannelli di Bessel da 5,7 oppure da 9 unità. Un esempio di sistema realizzato con pannelli di Bessel separati è riportato in figura 8. Ciascun quadrato rappresenta un pannello di Bessel formato rispettivamente da 5,7 oppure 9 altoparlanti.

Pannelli di Bessel stereo

La figura 9 riporta la struttura e il collegamento elettrico degli altoparlanti di un pannello di Bessel formato da 5 unità, identico a quello mono riportato in figura 1. I fattori pesanti per questo pannello stereo di Bessel sono i seguenti:

$$A : B : C : D : E : -0,5 (L+R) : (L-R) : (L+R) : (R-L) : 0,5 (L+R)$$

Ovviamente, sistemi analoghi possono essere realizzati con 7 oppure 9 altoparlanti, oppure con combinazioni di pannelli di Bessel.

Con pannelli di Bessel è possibile realizzare sistemi stereo espansi, sistemi

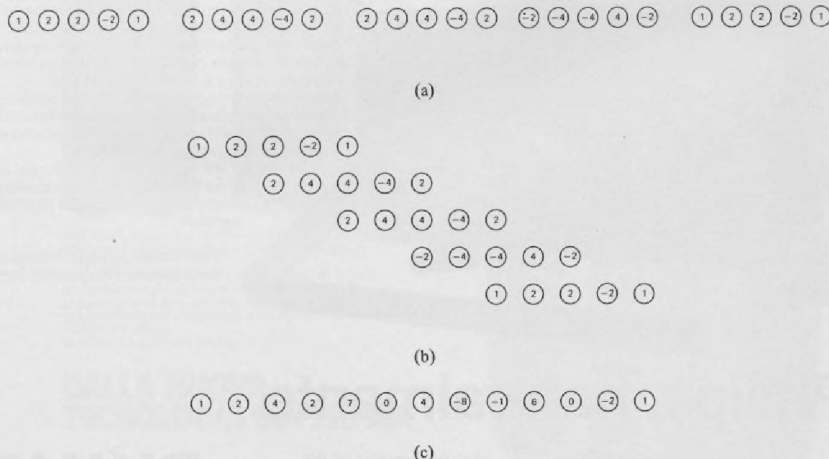


Fig. 7 - (a) Combinazione lineare di pannelli di Bessel; (b) la disposizione è tale per cui si ha una certa sovrapposizione; (c) i fattori pesanti si sono ottenuti in questo caso semplicemente addizionando i fattori pesanti di ciascuna colonna della struttura (b).

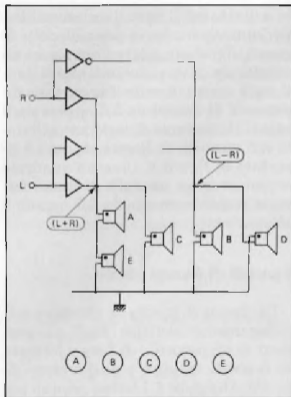


Fig. 9 - Pannello di Bessel stereo.

cioè nei quali la *base stereo* risulta apparentemente allargata (1). Lo schema di un circuito stereo con base allargata è in tutto simile a quello riportato in figura 9, dal quale differisce per il fatto che i segnali (L+R) e (L-R) vengono prelevati, in questo caso, dal controllo di bilanciamento.

In particolare, le uscite dal regolatore del bilanciamento dei canali saranno rispettivamente $k(L+R)$ che verrà collegata agli altoparlanti A, E e C, e l'uscita $(1-k)(L-R)$, che verrà collegata agli altoparlanti B e D.

Assegnando a k i valori qui sotto indicati si otterranno i seguenti effetti:

$k = 1$ mono

$k = 0,5$ stereo (e la struttura è quella riportata in figura 9).

$0 < k < 0,5$ stereo allargato (comunemente noto come "stereo spaziale")

$k = 0$ super stereo.

Microfoni collegati secondo le funzioni di Bessel

Questo articolo ha voluto illustrare soltanto sistemi di altoparlanti collegati in maniera da formare pannelli di Bessel.

È ovvio però che anche i microfoni possono essere disposti e collegati in base ai coefficienti di Bessel, e ciò allo scopo di realizzare sistemi di microfoni ad elevata sensibilità e omnidirezionalità (riproduzione pluridirezionale). La teoria e la realizzazione pratica è tutto identica a quella descritta per gli altoparlanti. ■

Bibliografia

(1) L. Cascianini - *Audio stereo spaziale e semistereo con TV* - Selezione di Tecniche Elettroniche n. 7/8 - 1983, pag. 30.