

**Seminario di Acustica ed Elettroacustica**  
**organizzato dalla Sezione Italiana dell'Audio Engineering Society**  
**in collaborazione con SIB '94.**

Giornata del 27 marzo 1994

Trasduttori e diffusori elettroacustici:  
Evoluzione tecnica e tendenze costruttive.  
Reimpaginata ed aggiornata al 2008 (parti in blu)

**Intervento di Fabrizio Calabrese su**

**Evoluzione dei metodi di caricamento: recenti sviluppi nel settore dei diffusori.**

Tutti i comparti della moderna tecnologia annoverano un continuo susseguirsi di innovazioni, senza soverchie soluzioni di continuità e con un costante innalzamento a livello delle prestazioni raggiunte. Diversamente, nel campo dei diffusori acustici di elevata potenza, si è assistito ad una fase di attivissima e fruttuosa ricerca, negli anni appena precedenti il 1930, alla quale sono seguiti periodi di relativa stasi o vere e proprie regressioni su standard qualitativi discutibili.

Ho espresso questa mia opinione bene in esteso in altra occasione, anni fa: in questa mi propongo di illustrare in dettaglio i risultati di numerose simulazioni al computer della risposta di diffusori professionali di potenza estrema, realizzati negli ultimi 40 anni, con una particolare attenzione al rapporto tra la potenza acustica emessa e l'ingombro al trasporto degli stessi diffusori.

La scelta di esaminare simulazioni in luogo di curve effettivamente rilevate deriva dalla disponibilità così conseguita di risultati omogenei e bene raffrontabili, mentre il rilevamento sul campo della effettiva risposta di grandi impianti di amplificazione (dai 20 KWatt in su) presenta difficoltà non trascurabili. Comunque dispongo di un numero di misurazioni effettuate con un analizzatore di Time Delay Spectrometry tipo Techron TEF-12 su vari impianti ed in situazioni di reale impiego, le quali hanno costituito il necessario raffronto per validare la pregnanza delle simulazioni.

Le simulazioni non producono una vera e propria risposta in frequenza, bensì una risposta energetica, (l'effettiva quantità di energia dissipata sulla componente resistiva del carico acustico, [curve in rosso](#)): proprio questo dato ha la maggiore importanza quando si esamina, come in questo caso, il possibile comportamento di un tipo di diffusore impiegato nel numero di unità che di solito sono necessarie per sonorizzare stadi e palasport in occasione di concerti Rock. [L'andamento della risposta in asse è possibile approssimarlo ipotizzando la somma in fase di tutte le emissioni \(curve in blu\).](#) Pochissime configurazioni di impianto consentono tuttavia di ottenere realmente la somma coerente di tutte le emissioni, per cui gli andamenti di risposta e gli incrementi di rendimento in asse che si osservano in queste simulazioni sono puramente indicativi e –perciò- non vennero presentati nel 1994.

Sebbene le potenze specifiche per ogni trasduttore si siano elevate in misura spettacolare, specialmente in questi ultimi anni, anche le richieste di impiego si sono orientate in modo di necessitare comunque l'impiego di unità multiple, variamente disposte ed affiancate: la direttività varia in funzione del numero e della disposizione e, con essa, varia anche la risposta in frequenza rilevata per qualsiasi asse.

L'unico modo dunque di disporre di dati veramente comparabili è appunto quello di rilevare (o simulare) la risposta energetica complessiva, come nel nostro caso.

Di recente si è diffuso il concetto di "arrayability", ovvero di predisposizione del diffusore, a livello di progetto, verso l'impiego in unità multiple affiancate: un concetto assai meglio sviluppato a livello di implicazioni commerciali e pubblicitarie che non su un piano di seria progettualità. Basti, in proposito, considerare la sistematica violazione della regola primaria per una vera arrayability, che è quella di non disporre mai le diverse sorgenti a distanze tra loro superiori a due terzi della lunghezza d'onda minore emessa dalle stesse, pena l'insorgere di un numero di lobi di irradiazione spuri su tutto il settore di spazio sul quale ogni singolo trasduttore emette livelli **consistenti di energia**.

Ancora un elemento di perplessità lo suscita l'ostinazione da parte del mercato nell'imporre una tipologia unica di diffusori per l'impiego sia nelle grandi sonorizzazioni (p.es. per i concerti Rock) che nelle diffusioni per discoteche o teatri: nel primo caso è imperativo contenere al massimo ingombri e pesi, contando sulla interazione mutua tra le molteplici unità affiancate nelle tipiche situazioni di impiego; nel secondo caso occorrono diffusori le cui prestazioni non scadano se impiegati singolarmente o a gruppi di 2-4 al massimo.

In un impianto da noleggio, un parametro fondamentale nella economia di gestione è dato dal rapporto tra potenza acustica emessa e cubatura (e peso) dei diffusori: per comparare dunque i meriti relativi di differenti configurazioni di diffusori da concerto -proprio su questo aspetto- ho volutamente scelto per le simulazioni dei woofers di potenza identica (600 Watt ciascuno), di eguale marca e del tipo e diametro effettivamente impiegati nei diffusori dei maggiori "Service" mondiali.

Farà eccezione soltanto la prima simulazione, effettuata su un diffusore JBL-4560BK, che, per via dell'anzianità del progetto ha visto anche un primo impiego con woofers assai diversi dagli attuali; in particolare, per un cono da 38 cm. di diametro degli anni 50/60, i parametri medi erano i seguenti:

**Resistenza in DC della bobina mobile: 11 ohm**

**Diametro della bobina mobile: 38 mm.**

**Superficie di emissione: 0.09 mq.**

**Massa mobile totale (cono e bobina): 44 grammi**

**Compliance delle sospensioni: 0.00032 m/N.**

**Fattore di forza (Bl): 13 Tm**

**Q meccanico (Qms): 5**

**Q elettrico (Qes): 0.763**

**Frequenza di risonanza in aria: 42 Hz.**

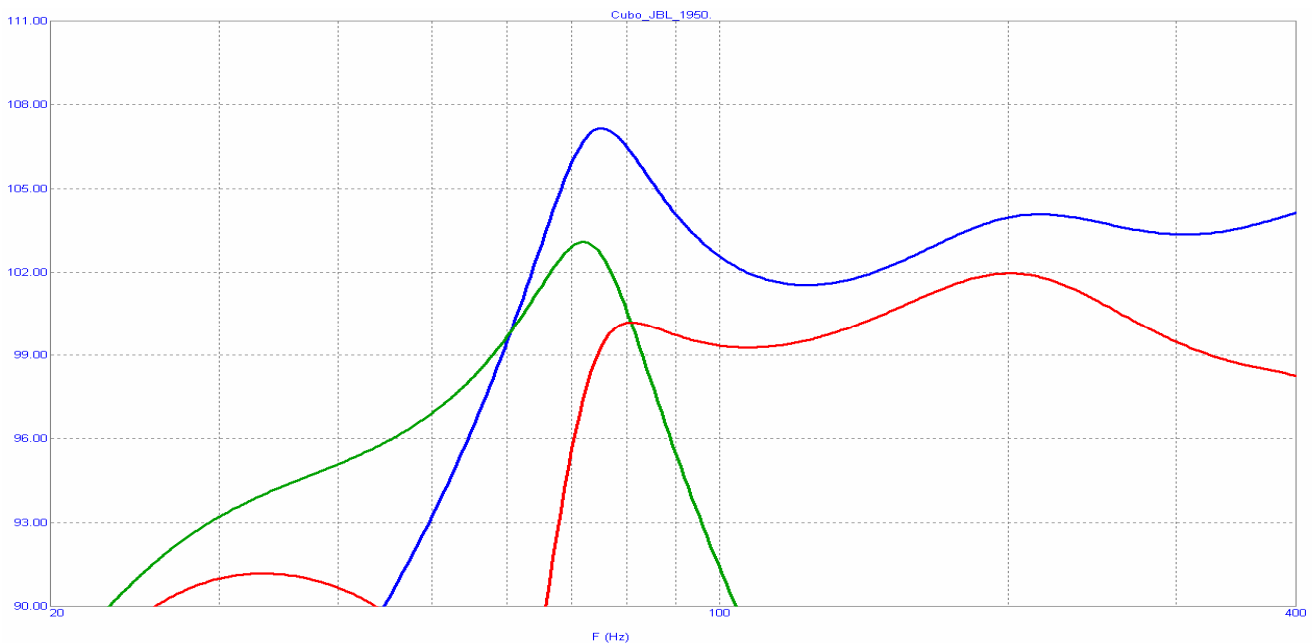
### **Il "cubo JBL": le trombe corte.**

Il diffusore JBL-4560 (cm. 91 X 76 X 61) era caratterizzato da una corta tromba anteriore e da un generoso volume posteriore (225 litri) accordato a circa 60 Hz con condotti corti: escluso il contributo di questi, lo si può bene paragonare ad un numero di diffusori da concerto attualmente presenti sul mercato ed impiegati dai maggiori "Services" (p.es Meyer MSL-3 e EAW KF-850).

Proprio per rendere possibile questa comparazione i primi grafici riportano ciascuno **tre curve distinte**, cioè la risposta energetica della corta tromba anteriore (in rosso), la risposta dei condotti reflex (in verde), e la somma in fase di tutte le emissioni (in blu). Quest'ultima è da considerare indicativa solo nel caso di un singolo diffusore, mentre lo è molto meno per l'array di 12 unità, come già spiegato.

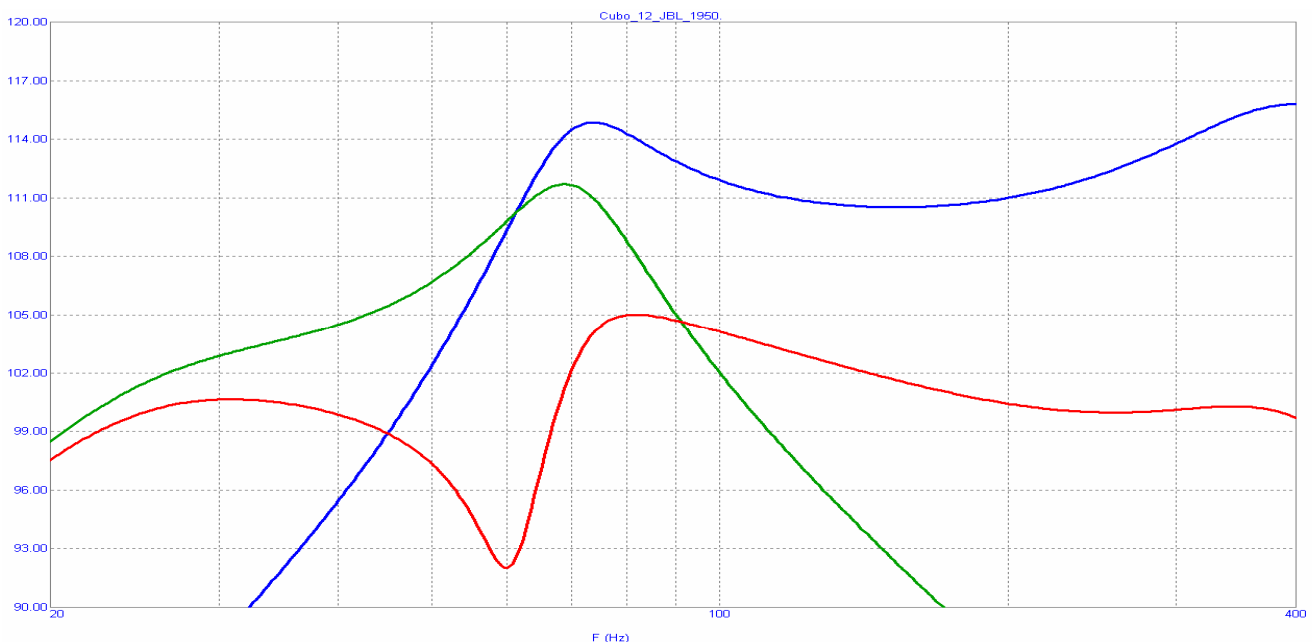
Quando questo tipo di diffusori vennero progettati, i woofers più diffusi presentavano i parametri sopra

accennati, ed una impedenza tipica di 16 ohm, per cui nella simulazione ho impiegato una tensione di pilotaggio di 4 volt RMS.



La **Figura 1a** -qui sopra- mostra la risposta energetica di una JBL-4560BK in campo emisferico, con un cono anni '50: la risposta ha delle variazioni accettabili e l'emissione dei condotti riprende bene proprio laddove l'emissione anteriore diviene inefficace (app. 60-70 Hz). Il rendimento medio è di 100 dB per 1 watt ad 1 metro. L'accordatura "alta" è possibile sia del tutto deliberata: creando un'enfasi intorno a 75 Hz., essa compensa in parte -all'ascolto- la ridotta estensione in basso della risposta.

Pur non essendo una condizione di impiego allora frequente, ho provato a simulare il comportamento della stessa accoppiata di woofer e diffusore, ma nel caso dell'impiego di 12 unità affiancate, sempre su un emispazio: la **Figura 1b**, qui sotto, mostra una risposta energetica gonfia verso l'estremo inferiore, ma con un ottimo rendimento (fino a 105 dB/1W/1m). La curva in alto (in blu) mostra l'incremento teorico di rendimento in asse, in pratica non raggiungibile per via delle ampie dimensioni frontali.



Per il loro ingombro al trasporto, pari a circa 422 litri, le JBL-4560BK (o le consorelle di oggi) avrebbero ben difficilmente trovato impiego nelle grandi sonorizzazioni di concerti Rock, se non si fosse provveduto ad introdurre sul mercato una generazione di woofers assai più potenti, con bobine mobili di 100 mm. di diametro, in grado di dissipare termicamente potenze dell'ordine dei 600 Watt, o più. I woofers delle generazioni a partire dalla metà degli anni '70 mostrano una sorprendente compatibilità di impiego, grazie alla similitudine dei parametri maggiormente significativi a livello di rendimento e risposta: la potenza retta ha tuttavia subito un costante e spettacolare aumento, specie grazie alle migliori tecnologie di incollaggio e di ventilazione delle bobine mobili.

Data questa similitudine, tutte le successive simulazioni sono state effettuate con una coppia di woofers da 38 e 47 cm. di diametro rispettivamente, a seconda del tipo di diffusore esaminato: entrambi sopportavano circa 600 watt, con una minima cautela di impiego, e presentavano un carico di circa 8 ohm all'ampli (per cui è stata impiegata una tensione di pilotaggio di 2.83 volt). Ogni considerazione da riportare ai woofers odierni non necessita che del necessario fattore di scala, in base alla maggior potenza eventualmente sopportata. Ecco i parametri (tra parentesi quelli del cono da 47 cm/18"):

**Resistenza in DC della bobina mobile: 5.5 (7.3) ohm**

**Diametro della bobina mobile: 100 (100) mm.**

**Superficie di emissione: 0.09 (0.13) mq.**

**Massa mobile totale (cono e bobina): 104 (130)grammi**

**Compliance delle sospensioni: 0.00027 (0.00022) m/N.**

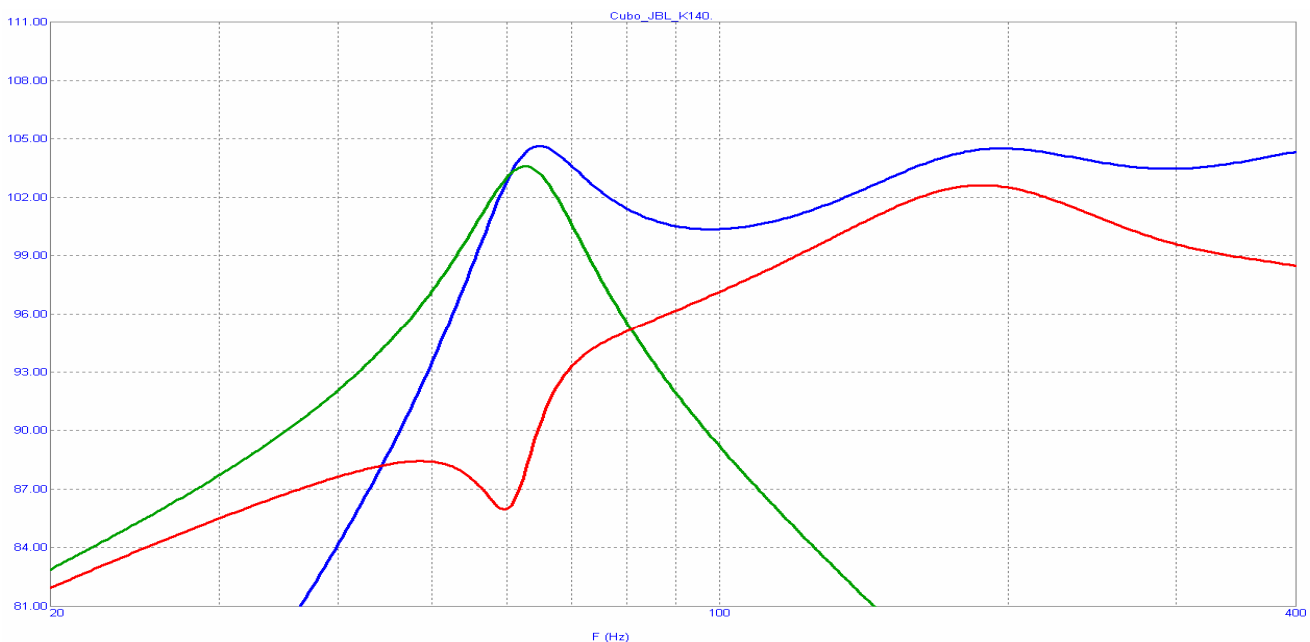
**Fattore di forza (Bl): 22 (25) Tm**

**Q meccanico (Qms): 5 (2.2)**

**Q elettrico (Qes): 0.22 (0.25)**

**Frequenza di risonanza in aria: 30 (30) Hz.**

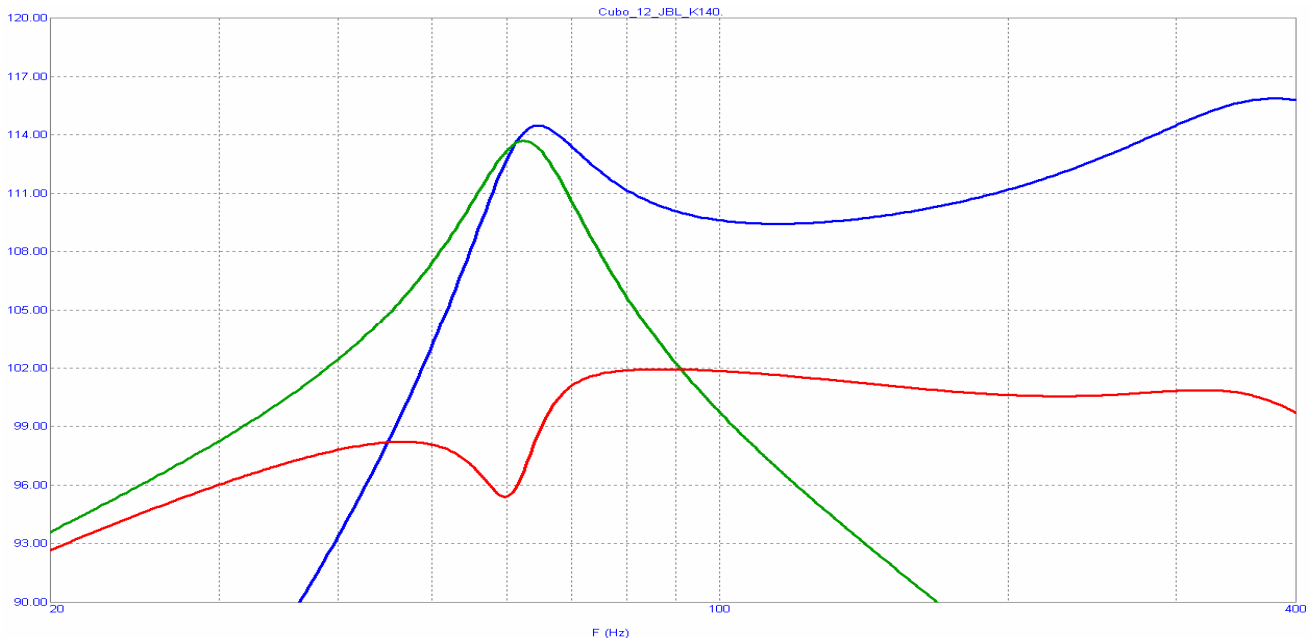
Ponendo uno di questi woofers moderni (da 38 cm.) in un diffusore come le JBL-4560BK, il popolare "*cubo JBL*", si osserva una risposta energetica quale quella simulata nel grafico della **Figura 2a**, sotto.



Il fattore di smorzamento elettrico assai basso è causa di perdita di efficienza nella importantissima zona dei 60/80 Hz, mentre l'emissione dai condotti (in verde) occupa una banda di frequenze assai più

ristretta, per via dell'elevato volume posteriore.

Nei diffusori più moderni da concerto, del tipo a tromba corta, la cavità posteriore è di volume assai più ridotto e non accordata: questo in gran parte elimina i problemi sopra citati, ma il rendimento resta su una media di 99 dB per 1 watt ad un metro. Simulando la condizione dell'impiego di 12 diffusori affiancati, questa volta realmente e spesso verificata nell'impiego pratico, ne emerge un quadro assai interessante, raffigurato nel grafico della **Figura 2b**, qui sotto.



La risposta energetica è regolarissima e bene estesa fino verso i 50/55 Hz, con un rendimento medio di 101 dB/1W/1mt. Interessante l'incremento del rendimento in asse (curva in alto, in blu), tuttavia condizionato -in pratica- alla rinuncia agli ampi condotti reflex, per compattare le bocche delle trombe e consentire l'interazione in fase delle emissioni. Questa simulazione spiega bene il relativo ed altrimenti inspiegabile successo delle corte trombe di tanti odierni diffusori da concerto, come pure il fatto che le cavità posteriori di questi siano regolarmente chiuse e non accordate: proprio la condizione tipica di impiego in gruppi numerosi di unità affiancate ha consentito l'adozione di una configurazione altrimenti assai criticabile, con trombe che caricano il diffusore solo al di sopra dei 100 Hz, ed al di sotto costituiscono solo una massa acustica aggiuntiva.

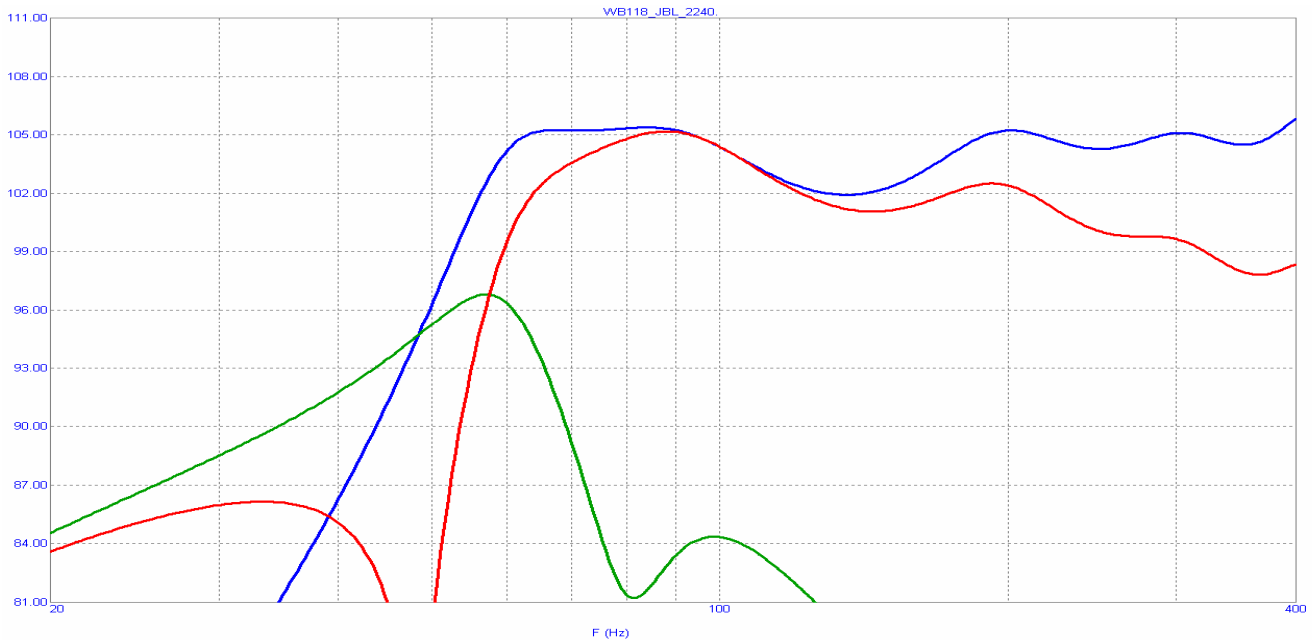
Un cenno di particolare attenzione lo merita lo scarso rendimento nella zona al di sopra dei 150 Hz: molti dei Service che impiegano decine di questi diffusori dalle corte trombe anteriori hanno avuto modo di constatare sul campo la necessità di elevare di molto le potenze in gioco, rispetto a quanto altrimenti era di regola con diffusori a tromba con condotti più lunghi (che esamineremo appena di seguito).

Introduciamo a questo punto un fattore di merito, detto "efficienza volumetrica", cioè il rapporto tra l'emissione acustica massima (in dB) ed il volume al trasporto: con 600 Watt per il singolo cono ed un rendimento di 101 dB/1W/1m ed un volume di 422 litri si hanno 132.5 dB per metro cubo.

### **WB-118: le trombe di lunghezza intermedia.**

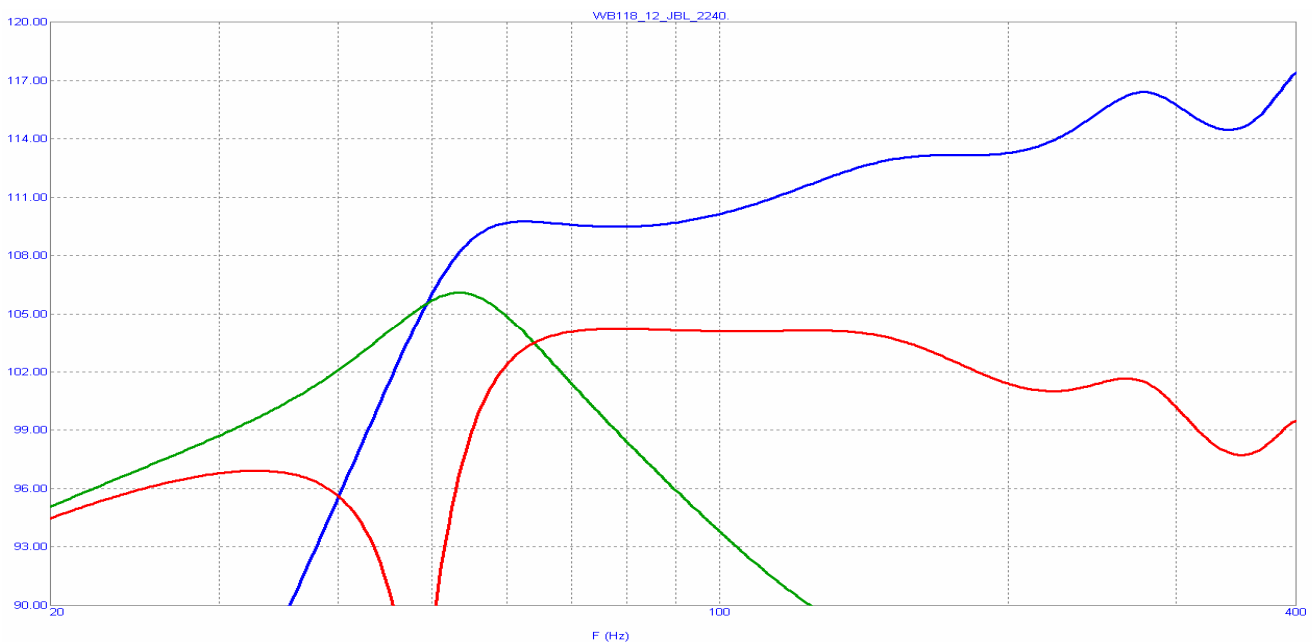
Nella fase intermedia tra la prevalenza -sul mercato dei grandi "Services"- dei sistemi con corte trombe, nell'epoca tra i "cubi JBL" e le Meyer MSL-3, ovvero alla fine degli anni '70, la configurazione di diffusore da concerto più diffusa (per la gamma bassa) era quella della tromba piegata a "W", con un

cono da 47 cm. di diametro. Un diffusore tipico era il così detto "WB-118", di 122 X 61 X 75 cm. (560 litri, circa), con una tromba di 1.2 metri, tagliata attorno ai 35 Hz ed un cono da 47 cm. (600watt).



La risposta energetica simulata per una unità singola, in emispazio, è raffigurata nella **Figura 3a**, qui sopra, e mostra un buon rendimento, anche se in presenza di un precoce taglio all'estremo superiore, quest'ultimo mascherato alle tradizionali misure di risposta in frequenza dall'aumentare della direttività della larga bocca (che, per una singola unità, linearizza bene la risposta in asse, da 150 a 400 Hz).

Affiancando 12 unità simili le prestazioni subiscono un netto miglioramento, con i risultati simulati nel grafico della **Figura 3b** –qui sotto-: questa volta il rendimento medio è di ben 103.5 dB/1W/1m, con una risposta energetica lineare da 45 a 200 Hz. La direttività in asse ora sovracompensa l'attenuazione data dalla massa mobile e dalla gola di ampia superficie (che però riduce la distorsione di II armonica).



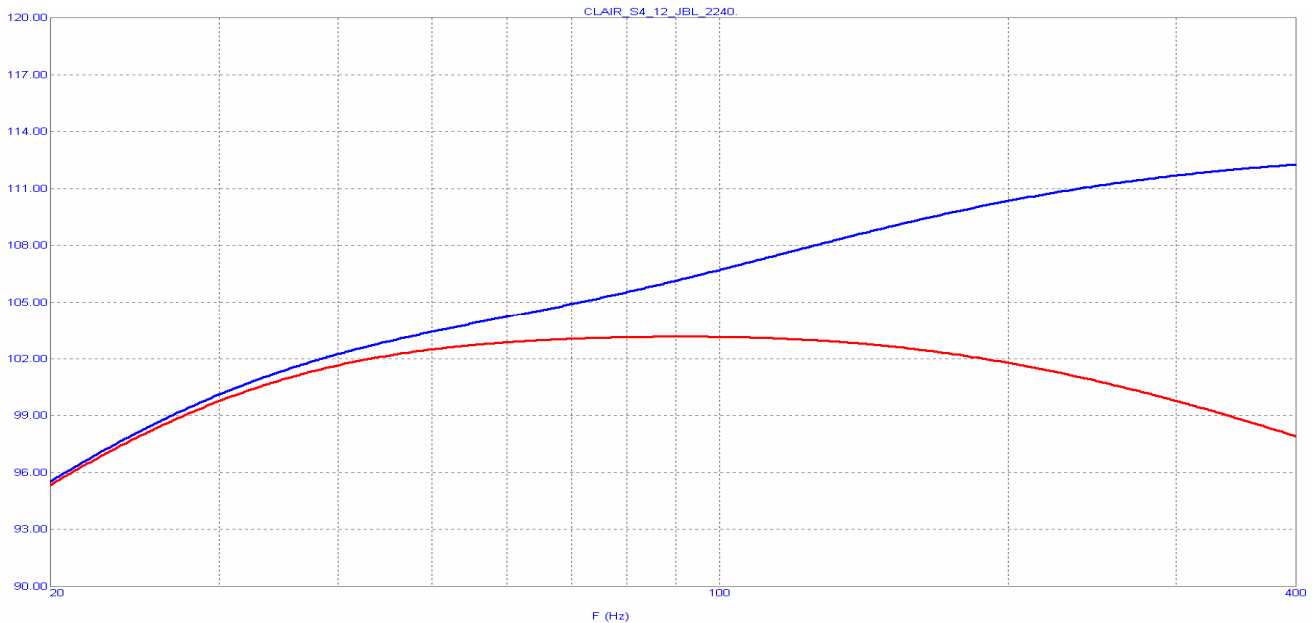
E' rimasto il problema del precoce taglio in alto, che ha causato la generale adozione di sistemi a 4 o più vie, in quegli anni.

L'efficienza volumetrica non ha subito grandi aumenti: un solo cono da 600 watt per 560 litri circa di ingombro dà luogo ad un valore indicativo di circa 134 dB per metro cubo al trasporto (appena 1.5 dB in più rispetto al "cubo JBL 4560").

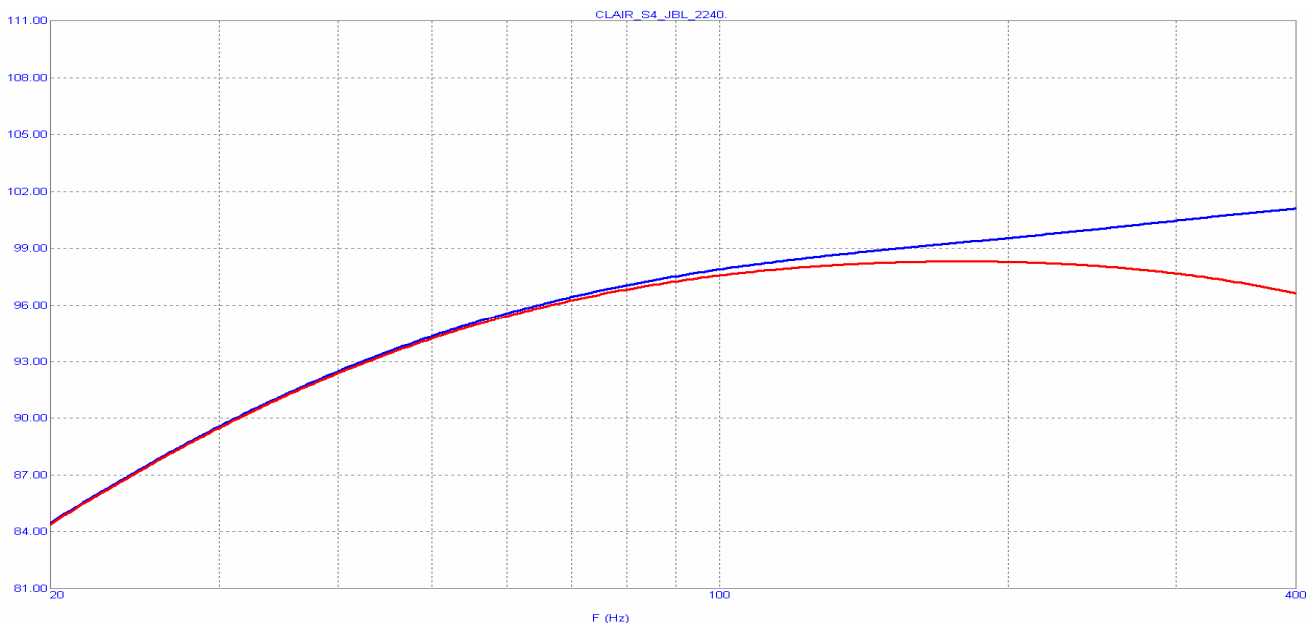
A questo punto si afferma, prepotentemente, uno strano tipo di diffusori da concerto: le Clair-S4, questa volta espressamente pensate per l'impiego in unità multiple.

### Clair-S4: diffusori a radiazione diretta.

Dal punto di vista strettamente progettuale c'è di che sorprendersi: si tratta di diffusori a radiazione diretta (con i coni esposti al sole ed alle intemperie...) con un volume di circa 700 litri ( 1.1 X 1.14 X 0.56 m.), in cui operano due coni da 47 cm. di diametro (600 watt ciascuno).



Il grafico di **Figura 4a** –qui sopra- mostra la risposta energetica simulata per un gruppo di 12 diffusori affiancati, mentre la **Figura 4b** -in basso- mostra la risposta di un singolo diffusore, a terra.



In questo caso l'effetto della vicinanza di altri diffusori analoghi è nettissimo, e comporta sia un aumento di rendimento che una maggiore estensione in basso della risposta: con 12 diffusori abbiamo una sensibilità **media** di 102 dB per 1 watt ad 1 metro, a frequenze dai 35 ai 250 Hz. **L'incremento di rendimento in asse è teorico, cioè si perde assai facilmente, poichè la metà dei pannelli frontali è occupata da altri trasduttori e, soprattutto, perché gli array sono praticamente sempre incurvati.**

Ho personalmente rilevato la risposta di un gruppo di oltre 60 di questi diffusori per ala di impianto, verificando una forte pregnanza della simulazione.

Alla condizione di impiegare quantitativi del genere, l'efficienza volumetrica di questo tipo di diffusori è di poco più di 134 dB per metro cubo (due coni da 600 watt per 700 litri e 102 dB/1W/1m).

Quindi nessun progresso rispetto sia al "cubo" 4560 che al WB-118, se non una maggiore estensione in basso della risposta in frequenza, pagata dalla necessità di dispiegare sempre enormi quantitativi di diffusori, disposti su file arcuate ed alte fino a 10 metri da terra.

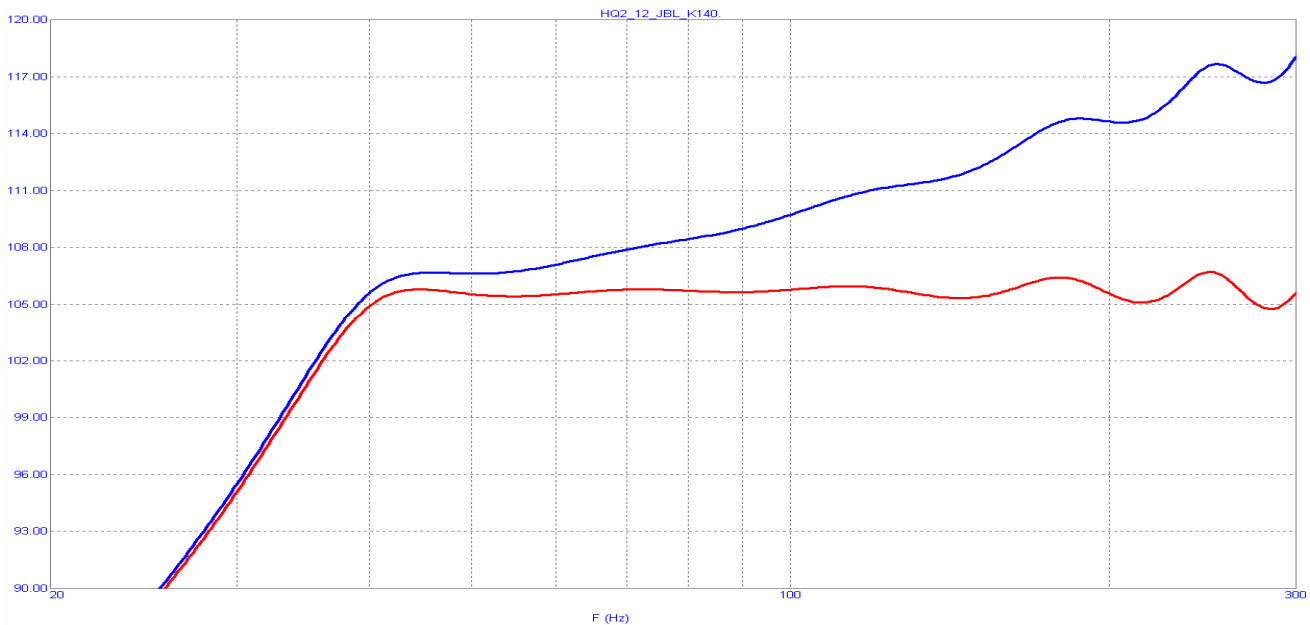
### **H.Q.: le trombe lunghe.**

Gli studi teorici degli anni '20 avevano suggerito una via alternativa, divenuta finalmente praticabile grazie alla disponibilità di woofers pesanti, rigidi e con forti complessi magnetici, come quelli impiegati per le simulazioni sinora mostrate.

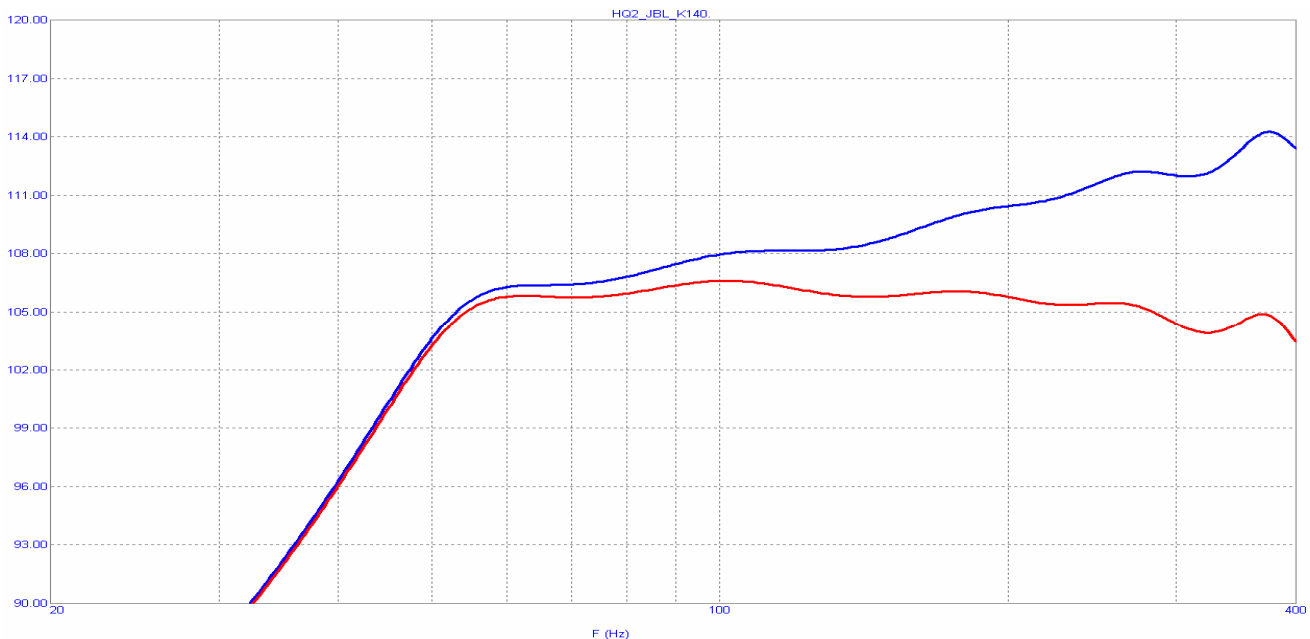
Così, nel corso di una esperienza in prima persona nel campo del Service, 12 anni fa, disegnai un sistema da concerto (H.Q.) con trombe lunghe ed elevato rapporto di compressione alla gola. Ciascun diffusore ( di 1.5 X 1.17 X 0.46 m.) montava tre woofers in parallelo (1800 watt), con un volume al trasporto di 807 litri.

La particolarità maggiore di questo sistema era quella di poter essere impiegato in una configurazione direttiva, in cui due unità erano affiancate, con le trombe prolungate dai diffusori dei medio-bassi, posti al lato e divaricati tra loro (o da apposite tavole).

A questo punto ho simulato la risposta energetica di questo sistema, con woofer identici a quelli sopra indicati (ma da 38 cm.) e con una prima simulazione **relativa alla configurazione prolungata, per la quale occorrono due grandi bocche, se i woofers sono 12**: la risposta energetica e quella in asse sono riportate nel grafico della **Figura 5a**, qui sotto. **Questa configurazione venne impiegata nel PalaEur.**



E' evidentissimo il rendimento estremo, in media sui 106 dB/1W/1m, da considerare come reale rendimento, depurato dal contributo aggiuntivo della direttività del diffusore, che in condizioni reali di impiego assicurava un margine aggiuntivo compreso tra 3 e 10 deciBel, in funzione della frequenza.



Ancora più significativo il grafico della **Figura 5b** –qui sopra- che raffigura la risposta energetica **ed in asse della configurazione minima, di due diffusori (con 6 woofers)**: il rendimento va da 105 a 106 dB per 1 watt ad 1 metro e l'unica variazione pratica è a carico del taglio inferiore, che sale dai 40 ai 50 Hz. **Le ridotte dimensioni di quest'impianto sono confermate dalla contenuta direttività (sopra 150 Hz).**

L'efficienza volumetrica di entrambe le configurazioni, con 1800 watt su 807 litri e 106 dB/1W/1m risulta essere di **139.5 dB** per metro cubo al trasporto: come tale è di 5.5 dB (tre volte e mezza) superiore al migliore dei casi precedenti.

Ma la caratteristica più avveniristica di questo sistema era forse il controllo della direttività, fino a frequenze decisamente basse, **realizzabile in pratica mediante la configurazione prolungata.**

La disponibilità, oggi, di woofers con potenze unitarie assai più elevate e, soprattutto, la presa di coscienza da parte dei maggiori *Services* della necessità di dispiegare comunque un quantitativo minimo di diffusori quasi mai sotto le dieci unità dovrebbe riportare l'attenzione su questo tipo di configurazione di diffusori.

Nel maggior numero di grafici che è stato possibile mostrare nel corso dell'intervento, è stato possibile includere simulazioni di sistemi con trombe per basse frequenze ancora più lunghe e dunque con risposta estesa in basso anche oltre quanto consentito ai sistemi a radiazione diretta con coni da 47 cm. di diametro.

Rispetto a questi, un sistema con trombe lunghe ha comunque il vantaggio di una minore escursione, a parità di potenza emessa.

## Conclusioni

Attraverso l'esame di un numero di simulazioni di risposta energetica di diffusori per basse frequenze di comune impiego nelle grandi sonorizzazioni di concerti Rock, è stata dimostrata la sostanziale equivalenza dal punto di vista del rapporto tra la potenza acustica emessa ed il volume al trasporto delle

tre configurazioni più diffuse.

Queste sono: 1)-Le trombe corte, tipo JBL-4560, Meyer MSL-3, EAW-KF850 etc. 2)-Le trombe ripiegate di media lunghezza (1-1.5 m.), tipo WB-118, Martin 115, etc. 3)-I sistemi a radiazione diretta, tipo Clair-S4, Maryland Sound, etc.

Per tutti questi diffusori, ipotizzando l'impiego per tutti di woofers di eguale potenza (600 Watt, al solo scopo di avere un riferimento costante), si riscontra un'efficienza volumetrica di circa **134 dB SPL per metro cubo** al trasporto.

Esaminando le prestazioni di sistemi alternativi (H.Q.), con lunghe trombe ed elevato rapporto di compressione in gola, si rilevano prestazioni assai migliori, con un rendimento di 106 dB per 1 watt ad un metro, cui aggiungere il contributo della direttività del diffusore.

L'efficienza volumetrica di ben **139.5 dB per metro cubo** al trasporto (3.5 volte quella dei sistemi convenzionali), rende la gestione di questo tipo di sistemi assai meno onerosa in termini sia di movimentazione che di possibile impiego in gruppi sospesi (con configurazioni di ripiegamento dei condotti diverse dalle originali).

Considerando i quantitativi di diffusori normalmente impiegati per le grandi sonorizzazioni ed i relativi costi di ammortamento e gestione operativa, è sorprendente la scarsa attenzione dedicata ad una configurazione di diffusori di tali prestazioni, ottenute tutte senza dover pregiudicare alcun altro aspetto, come escursione, affidabilità e distorsione.

Fabrizio Calabrese

09/14/94