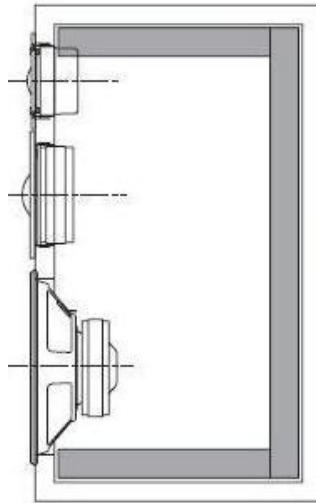


LA CASSA CHIUSA



Trattandosi di un box senza alcun tipo di aperture è indubbiamente il tipo di cassa acustica dalla realizzazione più semplice; è stato brevettato nel 1949 da Harry Olson e J. Preston ed è un sistema a radiazione diretta.

In un box chiuso l'aria contenuta al suo interno si comporta come una molla, ossia come una forza di richiamo per la membrana del woofer, tanto più rigida quanto è più piccolo il volume del mobile.

Ogni altoparlante è fornito di una propria C_{ms} e C_{as} ; un volume contenuto in un box completamente sigillato avrà determinati valori di C_{mb} e C_{ab} , rispettivamente correlati a cedevolezza meccaniche ed acustiche del box. Il valore di tali cedevolezza, sarà più grande quanto più è elevato il volume del box e, a tal proposito, viene definito "alfa" (α) il rapporto tra la cedevolezza acustica delle sospensioni del trasduttore (C_{as}) e la cedevolezza dell'aria contenuta nel mobile (C_{ab}), pertanto:

$$\alpha = \frac{C_{as}}{C_{ab}}; = \frac{V_{as}}{V_{ab}}$$

con V_{ab} il volume del box "apparente", data la presenza del materiale fonoassorbente (vedi oltre).

Vale la pena distinguere i sistemi a cassa chiusa in due differenti categorie:

- **Sospensione pneumatica**
- **Baffle infinito**

Nel sistema a **Sospensione pneumatica** l'aria contenuta nel mobile svolge la funzione di "forza di richiamo" nei confronti del diaframma con valori di α molto elevati. Esistono woofer appositamente progettati per l'uso in questa configurazione caratterizzati da:

1. **Cedevolezza delle sospensioni (C_{ms})** molto elevata (superiore ad 1) che impone la presenza di un freno ausiliario, composto appunto dall'aria contenuta nella cassa acustica.
2. **Frequenza di risonanza (F_s)** molto bassa.
3. **Fattore di merito totale (Q_{ts})** alquanto elevato e maggiore di 0,3.
4. **Massa meccanica, fattore di forza, volume equivalente e massima escursione lineare (M_{ms} , B_{xL} , V_{as} e X_{max})** elevati.

I trasduttori con F_s molto bassa avranno di conseguenza un'elevata cedevolezza delle sospensioni e massa dell'equipaggiamento mobile e, caricati in un box chiuso avranno una risposta sufficientemente estesa nelle note basse nonostante i valori alti di alfa. Il tasto dolente nei sistemi a sospensione pneumatica è la massima escursione lineare del cono la quale, deve essere quanto più possibile elevata onde evitare notevoli distorsioni.

Il **Baffle infinito** è un sistema chiuso con un valore di alfa molto basso, generalmente uguale o minore all'unità. È rappresentato da alti valori di cedevolezza acustica e meccanica dell'aria nel mobile e cedevolezza delle sospensioni relativamente contenuta per i trasduttori. Realizzando un mobile di grandi dimensioni la cedevolezza dell'aria all'interno dello stesso è praticamente ininfluenza sulle sospensioni dell'altoparlante ed il mobile servirà solamente come separatore tra l'onda anteriore e quella posteriore del trasduttore.

GLI ALLINEAMENTI.

Ogni sistema diffusore ha una risposta in frequenza determinata da un preciso andamento e cala con una determinata pendenza che si esprime in dB (Decibel) per ogni ottava (dB/oct.). Tutti i sistemi chiusi sono caratterizzati da una curva di risposta la cui pendenza al di sotto di F3, va da 12 a 6 dB/oct.

La configurazione della risposta è in relazione ai parametri del woofer e dipende dal **fattore di merito totale del diffusore chiuso Qtc**, che descrive l'ampliamento di risonanza del sistema. In fase progettuale si possono utilizzare valori di Qtc noti, con i quali vengono determinati gli **allineamenti** fondamentali e di riferimento caratterizzati da buone caratteristiche di risposta:

- Quasi del 1° ordine [Q1] = Qtc 0,300
- Criticamente smorzato del 2° ordine [CD2] = Qtc 0,500
- Bessel del 2° ordine [BL2] = Qtc 0,577
- Quasi Butterworth del 2° ordine [QB2] = Qtc 0,650
- Butterworth del 2° ordine [B2] = Qtc 0,707
- Chebyshev del 2° ordine [C2] = Qtc 1 e 1,4

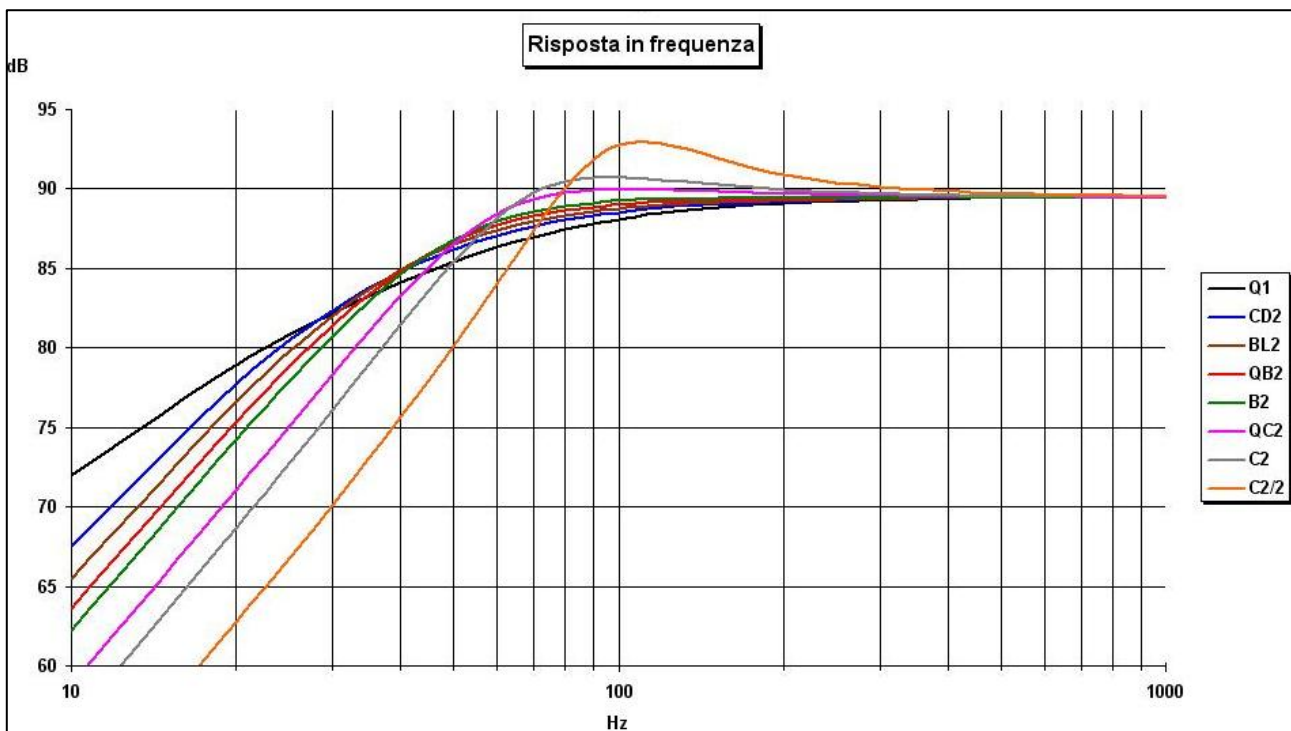


Figura 1: gli allineamenti tipici della cassa chiusa.

Le risposte Q1, CD2, BL2 e QB2 non assumono mai valori superiori alla banda passante mentre i restanti allineamenti esaltano la risposta in base al valore di Qtc scelto. La risposta B2, con Qtc a 0,707, è detta anche **massimamente piatta**, poiché è quella che si trova a livello più alto (livello medio) senza mai superare la banda passante. La risposta ai transitori di un sistema chiuso, è tanto migliore quanto più è basso il valore di Qtc ma è bene non scendere mai al di sotto di Qtc = 0,5 in quanto si determinerebbe una risposta troppo smorzata ed un suono troppo monotonale.

TEORIA: PRECISAZIONE E CALCOLO DEI PARAMETRI.

Esistono svariati metodi e procedure di calcolo per la progettazione di un diffusore chiuso permettendo così al progettista l'elaborazione di un sistema partendo da determinate caratteristiche; di seguito alcuni esempi applicativi:

1. Specificando un valore desiderato di volume V_b e quindi di V_{ab} ossia il volume interno del box maggiorato dall'assorbente. Nella grande maggioranza dei diffusori chiusi infatti, il riempimento del box è sempre totale e viene effettuato con poliuretano bugnato a celle aperte posto sulle pareti e dacron diffuso in tutta la parte restante del box. Il riempimento totale causerà così un aumento virtuale del volume di circa il 30%, quindi:

$$V_{ab} = V_b \times 1,3$$

Nel caso in cui il mobile fosse rivestito solamente sulle pareti interne l'aumento del volume sarà minore, circa il 10%:

$$V_{ab} = V_b \times 1,1$$

L'aumento virtuale del volume apparente non è determinato solo dalla presenza del materiale fonoassorbente ma anche dalla variazione di compressioni ed espansioni dell'aria all'interno del mobile che, passano da una condizione **adiabatica** (senza scambio di calore con l'esterno) ad **isotermica** (cioè senza variazioni di temperatura) causa un incremento della cedevolezza dell'aria nel mobile (C_{ab}) e, di conseguenza, del volume apparente interno poiché per V_{ab} vale anche la seguente relazione:

$$V_{ab} = \rho_0 \times c^2 \times C_{ab} \quad \text{quindi} \quad C_{ab} = \frac{V_{ab}}{\rho_0 \times c^2}$$

Rapporto di cedevolezza del sistema.

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_{ab}};$$

Frequenza di risonanza del sistema, in Hz.

$$F_c = F_s \times \sqrt{\alpha + 1};$$

Fattore di merito meccanico del sistema.

$$Q_{mc} = Q_{ms} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

Fattore di merito elettrico del sistema.

$$Q_{ec} = Q_{es} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

Fattore di merito totale del sistema.

$$Q_{tc} = Q_{ts} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

2. Si può decidere la frequenza di risonanza del sistema F_c , ottenendo:

$$\alpha = \left(\frac{(F_c)^2}{(F_s)^2} \right) - 1; \quad Q_{tc} = \frac{F_c \times Q_{ts}}{F_s}; \quad Q_{mc} = Q_{ms} \times \sqrt{\alpha + 1}; \quad Q_{ec} = Q_{es} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

3. Oppure, si possono imporre determinati valori di Q_{tc} :

$$\alpha = \left(\frac{(Q_{tc})^2}{(Q_{ts})^2} \right) - 1; \quad F_c = F_s \times \left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} \right); \quad Q_{mc} = Q_{ms} \times \sqrt{\alpha + 1}; \quad Q_{ec} = Q_{es} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

Dopo aver valutato i parametri principali del sistema in varie condizioni progettuali ne determiniamo i dati "secondari":

- **Frequenza inferiore utilmente riprodotta F3**, in Hz:

$$F_3 = \sqrt{\frac{\left(\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} \right) - 2 \right) + \sqrt{\left(\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} \right) - 2 \right)^2 + 4}}{2}} \times F_c;$$

- **Picco di risposta**, rispetto al valore medio della banda passante, in dB:

$$\text{Picco dB} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{4}{4 - \left(\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} \right) - 2 \right)^2} \right);$$

È ovvio che nei diffusori con Q_{tc} inferiori od uguali a 0,707 (B2) non vi è alcun "picco" di risposta infatti, la formula sopra riportata conduce ad un risultato uguale a zero.

- **Frequenza alla quale è centrato il picco di risposta**, in Hz:

$$F_{g \max} = \left(\frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{1}{2 \times (Q_{tc})^2} \right) \right]}} \right) \times F_c;$$

Sempre valida per $Q_{tc} > 0,707$.

- **Efficienza di riferimento:**

$$\eta_0 = (9,64 \times 10^{-10}) \times \frac{F_s^3 \times V_{as}}{Q_{es}}; \text{ per } V_{as} \text{ in litri.}$$

in percentuale %:

$$\eta_0 \% = \eta_0 \times 100$$

- **Sensibilità del sistema**, in Decibel:

$$\text{SPL dB} = 112 + 10 \times \log_{10}(\eta_0);$$

- **Massima potenza acustica Par**, in Watt acustici:

$$Par_{max} = K \times (F3)^4 \times (Vd)^2 ;$$

con Vd in m³.

Il valore di K (costante di potenza) dipende dal valore Qtc quindi, per valori inferiori o uguali a 0,707 vale la seguente formula:

$$K = 0,424 \times \left(\frac{1}{\left(\frac{F3}{Fc} \right)^4} \right) ;$$

Per valori superiori a 0,707:

$$K = 0,424 \times \left(\frac{1}{\left(\frac{F3}{Fc} \right)^4 \times \left(\frac{Qtc^4}{Qtc^2 - 0,25} \right)} \right) ;$$

- **Potenza elettrica corrispondente alla massima escursione del cono Per**, in Watt elettrici:

$$Per_{max} = \frac{Par_{max}}{\eta_0} ;$$

- La **massima escursione del cono**, per Qtc superiori a 0,707, avverrà **alla frequenza**:

$$Fx_{max} = Fc \times \sqrt{\left(1 - \left(\frac{1}{2 \times (Qtc)^2} \right) \right)} ;$$

nei casi in cui Qtc è inferiore a 0,707, la massima escursione del cono si avrebbe a frequenza zero.

- **Massima escursione del cono per una generica frequenza**, in meri:

$$X_{max} = \left(\frac{Eg \times (B \times L) \times \sqrt{2}}{(Re + Rg) \times 39,44 \times Fc^2 \times Mms} \right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F}{Fc} \right) \right)^2 + \left(\frac{F}{Fc \times Qtc} \right)^2}} \right) ;$$

con F = frequenza generica alla quale si vuole calcolare lo spostamento della membrana.

- **Curva di risposta a bassa frequenza** del sistema, per punti di frequenze crescenti, in dB:

$$\text{Risposta dB} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\left(\frac{F}{F_c} \right)^2}{\sqrt{\left[\left(\frac{F}{F_c} \right)^2 - 1 \right]^2 + \left[\left(\frac{F}{F_c} \right)^2 \times \left(\frac{1}{Q_{tc}^2} \right) \right]}} \right);$$

IL PROGETTO DI UN SISTEMA A SOSPENSIONE PNEUMATICA.

Come già accennato in precedenza, i trasduttori che possono essere utilizzati in un box chiuso devono avere determinate caratteristiche; l'HW 250 di casa Ciare fa proprio al caso nostro.

CIARE HOME

WOOFER

HW 250

180 Watt max 8 Ω

Ø 250 mm / 10"

- WOOFER
- Membrana in cellulosa smorzata e sospensione in poliuretano
- Doped paper cone, polyurethane surround

	Potenza nominale 90 W	Ra 6 Ω	D 208 mm
	Impedenza nominale 8 Ω	Fs 23 Hz	Vas 275 dm³
	Sensibilità (1W/1m) 90 dB	Qms 3	BxI 6,55
	Ø bobina mobile 32 mm	Qes 0,58	Xmax Wb/m
	Altezza traferro 6 mm	Qts 0,48	η° 5 mm
	Fori di fissaggio 8 ∅ / ∅ 25,3	Mms 29 g	Le 0,55 %
	Foro pannello 238 mm	Cms 1,7 mm/N	Peso 0,6 mH

Frequenza di risonanza 23 Hz, cedevolezza delle sospensioni, fattore di merito totale, volume d'aria equivalente ed escursione massima lineare estremamente elevati...un OTTIMO woofer progettato appositamente per lavorare con un freno ausiliario l'aria, ideale quindi in sospensione pneumatica.

Supponendo di avere a disposizione un box da 60 litri netti, vediamo come far esprimere l'HW 250 al meglio delle proprie potenzialità.

1. **Vab**, o meglio, il volume virtuale visto dal trasduttore data la presenza del materiale fonoassorbente (riempimento totale).

$$V_{ab} = V_b \times 1,3$$

$$V_{ab} = 60 \times 1,3 = 78 \text{ litri}$$

2. **Rapporto di cedevolezza** del sistema.

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_{ab}};$$

$$\alpha = \frac{275}{78} = 3,53$$

Si noti come il valore di alfa sia maggiore di 1, determinando così il nostro sistema chiuso a sospensione pneumatica.

3. **Frequenza di risonanza** del sistema.

$$F_c = F_s \times \sqrt{\alpha + 1};$$

$$F_c = 23 \times \sqrt{3,53 + 1} = 48,93 \text{ Hz}$$

4. **Fattore di merito meccanico** del sistema.

$$Q_{mc} = Q_{ms} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

$$Q_{mc} = 3 \times \sqrt{3,53 + 1} = 6,38$$

5. **Fattore di merito elettrico** del sistema.

$$Q_{ec} = Q_{es} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

$$Q_{ec} = 0,58 \times \sqrt{3,53 + 1} = 1,23$$

6. **Fattore di merito totale** del sistema.

$$Q_{tc} = Q_{ts} \times \sqrt{\alpha + 1};$$

$$Q_{tc} = 0,48 \times \sqrt{3,53 + 1} = 1,03$$

Il sistema avrà un allineamento C2 con un'esaltazione della risposta di 1,45dB a 71,55 Hz (Fg max), l'escursione massima avverrà a 35,70 Hz e la minima frequenza riproducibile dal sistema (F3) sarà collocata a 37,92 Hz.

Ora verifichiamo le prestazioni del nostro sistema chiuso:

7. **Efficienza di riferimento** che, nei sistemi a radiazione diretta, risulterà pari a quella dell'altoparlante.

$$\eta_0 = \left(9,64 \times 10^{-10} \right) \times \frac{F_s^3 \times V_{as}}{Q_{es}};$$

$$\eta_0 = 0,00000000964 \times \frac{12167 \times 275}{0,58} = 0,0056 = 0,56\%$$

8. **Sensibilità SPL** del sistema.

$$SPL \text{ dB} = 112 + 10 \times \log_{10}(\eta_0);$$

$$SPL \text{ dB} = 112 + 10 \times \log_{10}(0,0056) = 89,45 \text{ dB}$$

9. **Massima potenza acustica riprodotta, Par**, in Watt acustici e dB.

$$Par \text{ max} = K \times (F_3)^4 \times (V_d)^2;$$

$$Par \text{ max} = 0,84 \times (37,92)^4 \times (169811,2 \times 10^{-9})^2 = 0,050 \text{ Watt acustici}$$

$$Par \text{ max dB} = 112 + 10 \times \log_{10}(Par \text{ max});$$

$$Par \text{ max dB} = 112 + 10 \times \log_{10}(0,050) = 99,01 \text{ dB}$$

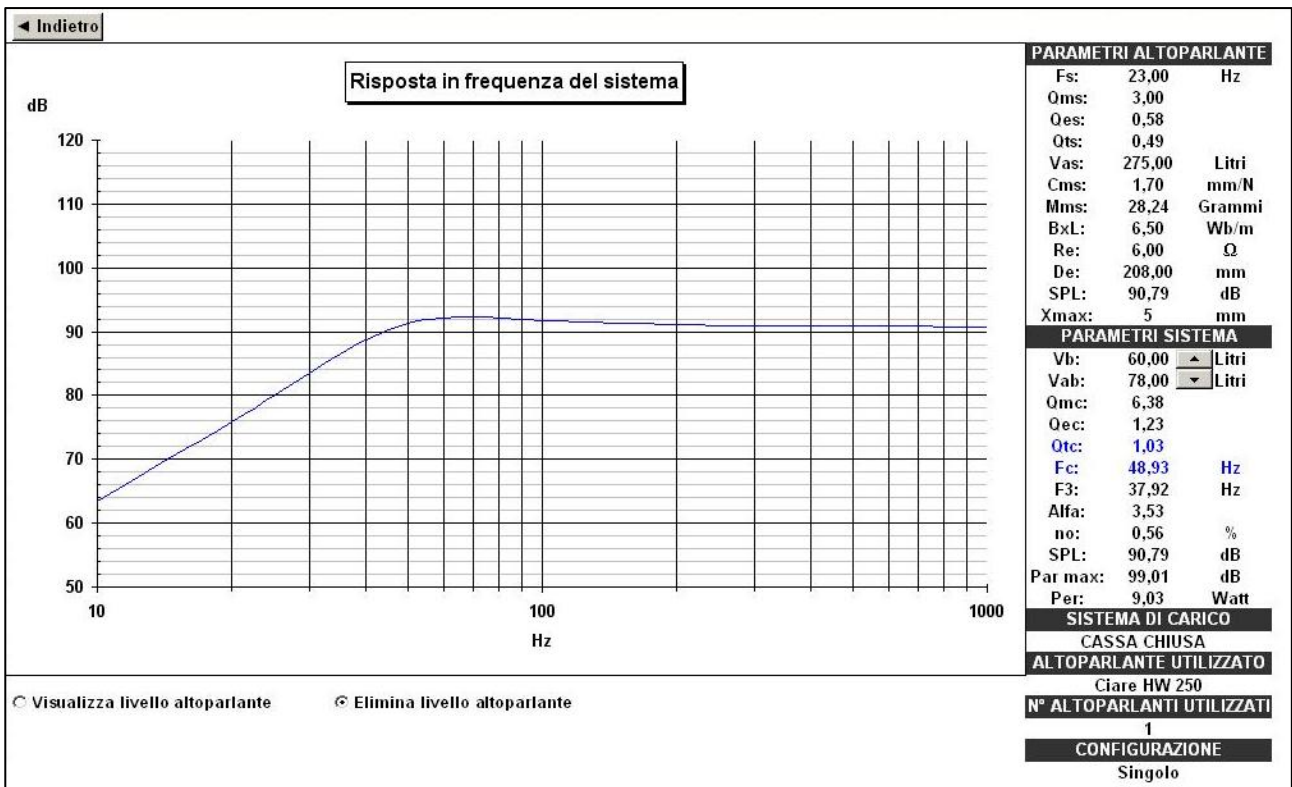
Con, K calcolato con la formula precedente per valori di Qtc superiori a 0,707 e Vd in m³.

10. **Per**.

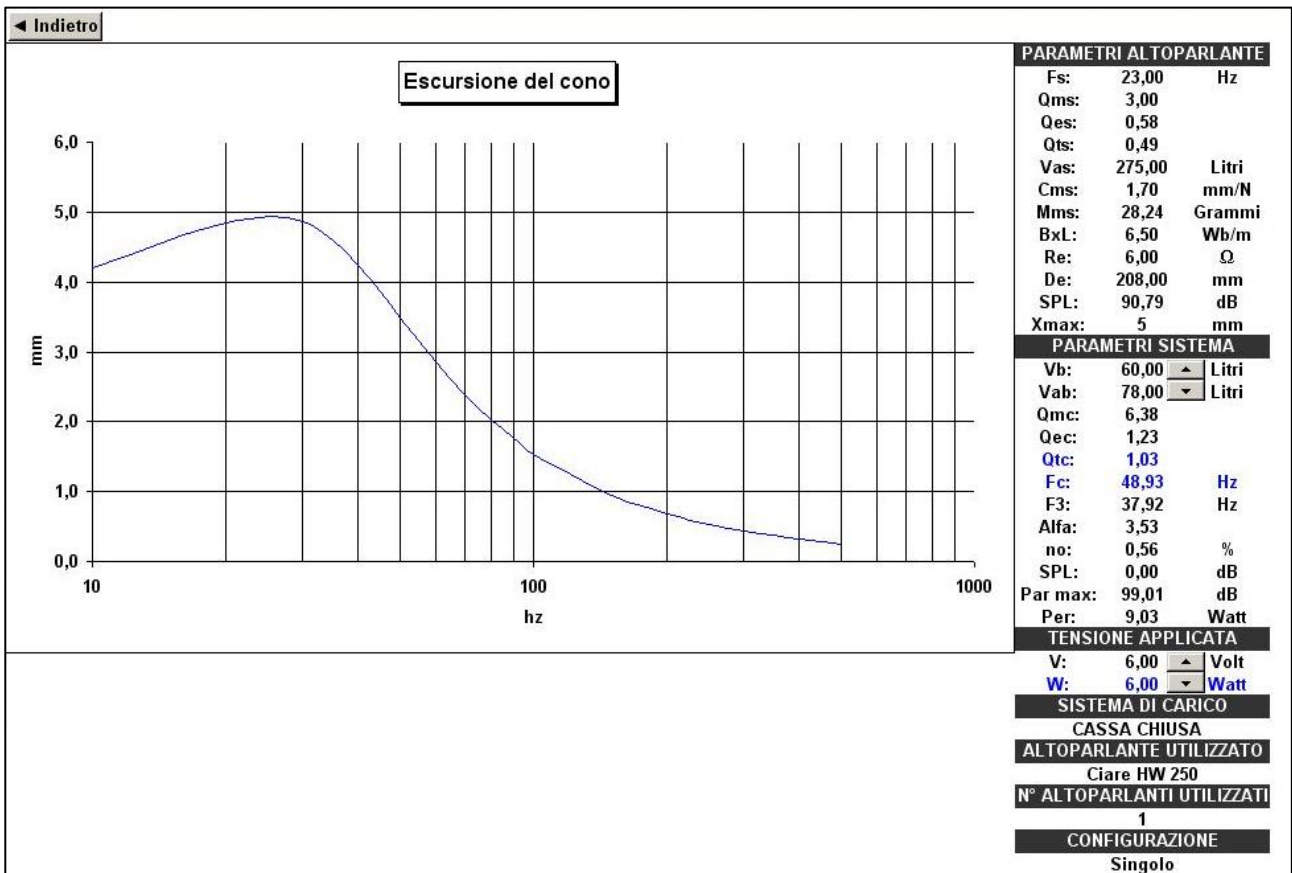
$$Per \text{ max} = \frac{Par \text{ max}}{\eta_0};$$

$$Per \text{ max} = \frac{0,050}{0,0056} = 9,03 \text{ Watt elettrici}$$

11. **Risposta in frequenza** calcolata per punti di frequenza con la formula già vista e riportata in un grafico.



12. **Escursione massima lineare** del cono con 6 watt in ingresso.



OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Da quanto sin qui esposto dovrebbe ormai essere abbastanza comprensibile che, per la corretta realizzazione di un sistema in **sospensione acustica** è fondamentale disporre di un trasduttore idoneo in quanto in grado di rispettare i molteplici requisiti accennati in precedenza. Particolare attenzione è da porre all'elevatissimo valore che dovrebbe avere la cedevolezza delle sospensioni che, rende siffatti altoparlanti **non adatti** al funzionamento in un altro tipo di carico acustico.

A parità di woofer e di volume utilizzato, il Bass Reflex offrirebbe innegabili vantaggi rispetto alla cassa chiusa, soprattutto in termini di estensione di risposta e potenza acustica ma, se il requisito fondamentale richiesto è un **miglior comportamento ai segnali impulsivi** ed una risposta ai transitori più pronta, un sistema in cassa chiusa con un basso fattore di merito totale è la scelta più idonea.

La preferenza di un sistema con apertura è dunque praticamente vincolata allorquando si desideri un sistema capace di restituire elevate dinamiche e dotato di estesa risposta verso il basso con vantaggi e problematiche annesse.

