

**Efficienza e Sensibilità**  
di Mario Bon  
25 ottobre 2011  
(ultima revisione 26 marzo 2017)

Nell'ambito della Teoria delle Reti, un generatore comandato è un dispositivo tempo invariante?  
Se avete risposto no... avete sbagliato. Tutti i sistemi fisici sono tempo\_invarianti.  
Non si deve confondere "tempo\_invariante" con "tempo\_dipendente" o "dipendente\_dal\_tempo"

**Glossario:**

**Conservazione dell'energia**

L'energia di un sistema isolato si conserva (non cambia nel tempo).

La conservazione dell'energia è una conseguenza della omogeneità del tempo.

Se non vogliamo mancare di rispetto a chi sostiene ipotesi che implicano la non conservazione dell'energia, dobbiamo ammettere che, in Italia, l'energia si conserva quasi ovunque. Questo non è un problema se si ammette che il tempo (in quelle stesse zone) sia non\_omogeneo. Speriamo, per il bene degli abitanti di quei luoghi sfortunati, che colà, il tempo, sia almeno anisotropo.

**Energia:** L'energia è una particolare funzione definita in modo tale per cui la variazione di energia di un sistema fornisce il lavoro (svolto o assorbito) dal sistema stesso. L'energia non è un osservabile.

L'energia è definita a meno di una costante (infatti, in Fisica Classica, solo le differenze di energia hanno significato fisico).

**Energia potenziale:** è una funzione delle sole coordinate spaziali (o funzione di punto) la cui variazione fornisce il lavoro svolto a una forza conservativa (una forza di dice conservativa se il lavoro compiuto su un percorso chiuso è nullo).

**Impedenza di radiazione**

L'impedenza di radiazione è, in generale, una funzione delle coordinate spaziali. Questo significa che non è uguale in ogni punto dello spazio e non è sufficiente considerare solo l'impedenza di radiazione in asse ad un sistema (trombe comprese). Cio appare chiaro se si legge l'espressione della potenza acustica proposta da Beranek in ""Acoustics" (espressione 4.20)

**Lavoro:** Il lavoro è, in generale, una variazione di energia (cinetica, elettrica, magnetica, acustica, ecc.) e si esprime nel modo più conveniente per ogni sistema.

**Macchina:** una macchina, in fisica, è un dispositivo in grado di modificare il modulo e/o la direzione di una forza. Sono macchine il piano inclinato, la leva, la carrucola, ma anche il trasformatore elettrico, il transistor, ... e anche una automobile o un missile balistico. Anche una tromba è una macchina con tutto quello che ne consegue.

**Potenza:** la potenza è il lavoro svolto nell'unità di tempo.

**Riflessione:** si dimostra che quando un'onda, durante la sua propagazione, incontra una variazione di impedenza nel mezzo, subisce una riflessione. Le variazioni di impedenza non corrispondono solo a variazioni di velocità di propagazione ma anche a variazione di impedenza di radiazione pur restando la velocità di propagazione costante.

**Secondo Principio della Termodinamica:** Il secondo Principio della Termodinamica, oltre a dare una definizione di entropia, stabilisce che il rendimento di una macchina è sempre inferiore al 100%. In sostanza il Primo Principio della Termodinamica esprime la conservazione dell'energia e fornisce la definizione di calore, il Secondo Principio ci dice dove questo calore va a finire. L'entropia è espressa dall'integrale di Clausius. Boltzmann ha espresso l'entropia in termini statistici:  $S=k \ln(W)$ . Boltzmann ha unito il microscopico al macroscopico. Il tempo scorre nella direzione lungo la quale l'entropia cresce (la freccia del tempo).

**Trasferimento di energia:** si dimostra che il trasferimento di energia è massimo quando l'impedenza interna della sorgente è uguale all'impedenza offerta dal carico (si veda per esempio la propagazione di onde di pressione all'interno di un condotto di lunghezza infinita e sezione qualsiasi o la propagazione lungo un cavo, ecc.).

**Trasformatore:** è un elemento passivo quindi, nel caso ideale in cui le perdite siano trascurabili, la potenza in uscita è (quasi) uguale alla potenza in entrata. A causa dell'entropia, il rendimento di un trasformatore è sempre inferiore al 100%. I trasformatori elettrici vengono impiegati negli amplificatori per adattare l'impedenza di uscita delle valvole (alta) alla impedenza del carico (bassa). Esistono trasformatori anche in ambito meccanico (leva) e in molti altri ambiti (si vedano le analogie elettro-meccaniche, ecc.).

Per cominciare ribadiamo la differenza tra dispositivi "attivi" e "passivi" :

<b>Dispositivo passivo</b>	Un dispositivo si dice passivo quando, per funzionare, <u>non</u> ha bisogno di energia dall'esterno.
<b>Dispositivo attivo</b>	Un dispositivo si dice attivo quando, per funzionare, ha bisogno di energia esterna (deve essere alimentato). Il cervello umano è un dispositivo attivo: se non è alimentato non funziona. In alcuni

individui non funzionano nemmeno se è alimentato. Infatti essere alimentati è una condizione necessaria ma non sufficiente per avere un cervello funzionante. Quindi è inutile essere bulimici.

La funzione di un amplificatore è aumentare la potenza del segnale: l'amplificatore preleva potenza dalla alimentazione e la trasferisce al segnale e da questo al carico. Un amplificatore da 100 Watt continui su 8 ohm con impedenza di 100kOhm e sensibilità di 1 Volt RMS incrementa la potenza del segnale di ingresso di dieci milioni di volte.  
 $Potenza_{in} = v^2/R = 1/100k$   $Potenza_{out} = 100$  ( $Potenza_{out}/Potenza_{in} = 10M$  (M=Mega)

#### Esempi di dispositivi passivi

Linea di trasmissione	Usata per collegare due punti di un circuito.
Trasformatore	Usato, per esempio, per adattare l'impedenza di uscita di un amplificatore a valvole alla impedenza del carico per favorire il trasferimento di potenza. La potenza che esce da un trasformatore è sempre inferiore a quella che vi entra (Secondo Principio della Termodinamica).
Leva	La leva (quella di Archimede per intendersi) non aumenta la forza ma converte i momenti (da forza piccola per un lungo spostamento, in forza grande e piccolo spostamento): la potenza (meccanica) che spinge la leva è la stessa che alza il peso.
Tromba	concentra la potenza acustica disponibile su una superficie limitata. E' l'analogo di un tubo a sezione divergente (non di un trasformatore)
R, L, C	Resistori, Induttori e Condensatori

#### La tromba è l'analogo di un trasformatore?

Purtroppo no. Una tromba è analoga ad una linea di trasmissione (un tubo a sezione divergente). Se la tromba è l'analogo di una linea di trasmissione significa che ha proprietà analoghe alla linea di trasmissione. Tecnicamente si dovrebbe dire che il "sistema tromba" è isomorfo al "sistema linea di trasmissione". Ne segue che in una tromba la potenza acustica che esce dalla bocca non può essere superiore della potenza acustica che entra nella gola. Questo è vero indipendente da qualsiasi altra considerazione. L'adattamento della impedenza della bocca della tromba alla impedenza di radiazione dell'aria è ancora un'altra storia.

Se un dispositivo passivo fosse in grado di aumentare la potenza applicata al suo ingresso avremmo eluso il Secondo Principio della Termodinamica e, contemporaneamente, risolto il problema energetico del pianeta. Ancora non è successo e non accadrà in futuro (almeno in questa parte di Universo).

Una tromba è un dispositivo passivo: allora perché si dice che un altoparlante caricato con una tromba ha una "efficienza" maggiore (e non di poco) dell'altoparlante senza tromba? Perché si equivoca sul significato del termine "efficienza" (e anche sul modo di calcolarla). Quando si calcola la potenza acustica emessa da una sorgente in campo libero si integra su una superficie sferica completa (su un angolo solido di  $180^\circ \times 360^\circ$ ) quando si calcola la potenza acustica emessa da una tromba, si integra, un po' per convenzione e un po' perché fa comodo, sulla porzione di superficie sferica che corrisponde all'angolo solido su cui irradia la tromba, (per esempio  $40^\circ \times 60^\circ$ ). In realtà il calcolo della potenza acustica va sempre fatto su tutto lo spazio (e, si dovrebbe aggiungere, su tutta la banda passante).

Prendiamo un ipotetico altoparlante da 8 ohm che, montato in cassa chiusa, produce 89 dB SPL a 1 metro con 2.83 Vrms. Fissiamo una opportuna frequenza (dove l'altoparlante irradia su tutto lo spazio con  $Q=1$ ) e calcoliamo l'efficienza. Considerato che l'altoparlante assorbe 1 Watt elettrico e che produce un livello di potenza inferiore di -20dB rispetto ad una sorgente ideale di rendimento unitario, risulta che il suo rendimento è pari all' 1%. Se colleghiamo 10 di questi altoparlanti in serie tra loro, l'efficienza del sistema, apparentemente, aumenta al 10% (infatti a parità di stimolo il sistema assorbe un decimo della corrente continuando a produrre lo stesso SPL di 89 dB alla frequenza scelta). Sembrerebbe che collegando in serie 110 altoparlanti il rendimento del sistema potesse arrivare al 110%. Miracolo!

Il fatto che questo avvenga a 100 Hz piuttosto che a 2 Hz o a mezzo Hz non ha alcuna importanza. Il rendimento non può mai superare il 100% quindi c'è un errore da qualche parte.

Questo esempio indica tre cose:

- alta efficienza non significa necessariamente elevato SPL
- un elevato SPL non significa necessariamente alta efficienza
- nel calcolo dell'efficienza c'è qualche cosa che non va perché conduce ad un paradosso.

I ragionamenti fatti fin qui si basano sulla conservazione dell'energia e sul Secondo Principio della Termodinamica (in sostanza sulle omogeneità ed anisotropia del tempo) e vanno quindi oltre i modelli o le teorie di Pinco e di Pallino: le considerazioni energetiche, in Fisica, sono sempre prevalenti su qualsiasi altra considerazione (e infatti sono le prime che si fanno per capire se si stanno dicendo minkiate).

L'efficienza di un sistema di altoparlanti è il prodotto di più fattori:

- efficienza elettro-meccanica
- efficienza meccanica-acustica
- efficienza della tromba (quando c'è, in tutte le sue parti)

Ciascuno di questi termini è inferiore al 100%, ne segue che il loro prodotto è inferiore al 100% ed, in particolare, risulta inferiore al più piccolo dei tre.

Ai tre termini visti, nelle effettive condizioni d'uso, si deve aggiungere la compressione termica causata dall'aumento della temperatura della bobina mobile che può ridurre la potenza acustica in modo consistente. Il rame presenta un coefficiente termico pari allo 0.4% per grado di temperatura. La temperatura della bobina mobile può crescere anche di 100° e aumentare la propria resistenza del 40%. In queste condizioni la potenza elettrica che entra nell'altoparlante si riduce e conseguentemente si riduce sia il rendimento che l'SPL prodotto. Nel caso di molti altoparlanti collegati in serie con l'aumento della dimensione della sorgente l'impedenza di radiazione aumenta lungo certe direzioni ma diminuisce lungo altre: in sostanza la potenza acustica diminuisce a causa dell'interferenza. A questo punto sarebbe interessante chiedere: cosa è successo all'impedenza di radiazione? Quello che interessa è la parte reale dell'impedenza di radiazione. Facciamo un esempio semplice: se un solo altoparlante irradiava su tutto lo spazio mentre l'array irradia, supponiamo, su un quarto di spazio significa che la resistenza di radiazione è aumentata su un certo angolo mentre è diminuita su un angolo ben maggiore. Questo fa sì che il rendimento di un numero qualsiasi di altoparlanti connessi in serie non possa comunque superare il 100%. Quello che si osserva, nel campo lontano, è la concentrazione della potenza acustica su un angolo che diminuisce al crescere del numero di altoparlanti utilizzati.

## Sensibilità e distanza

Quando la potenza acustica raddoppia, l'SPL (in campo libero) aumenta di 3 dB.

Lo stesso risultato si ottiene riducendo del 30% la distanza tra la sorgente ed il punto di ascolto (per esempio  $0.7 \times 4 = 2.82$  metri) purché si rimanga nel campo lontano della sorgente. Se la distanza tra la sorgente ed il punto di ascolto viene dimezzata, l'SPL aumenta di 6 dB.

Ne segue che, piuttosto che aumentare la potenza dell'amplificatore conviene, se e quando possibile, ridurre la distanza del punto di ascolto (sulla opportunità di ridurre il rumore di fondo si è già detto più volte).

Per ridurre la distanza del punto di ascolto è necessario che il sistema di altoparlanti sia adatto all'ascolto ravvicinato (e questo richiede che il cabinet e tutto il sistema sia disegnato in modo opportuno).

## Sensibilità e massimo SPL

Oggi sono disponibili amplificatori capaci di erogare centinaia e anche migliaia di Watt e si possono quindi utilizzare sistemi di altoparlanti anche non particolarmente sensibili. Quello che interessa è il massimo livello SPL ottenibile nel punto di ascolto.

Al lato pratico interessa determinare la potenza dell'amplificatore in funzione della massima pressione di picco del suono diretto nel punto di ascolto (per esempio per far sanguinare le orecchie) o del massimo livello ottenuto sommando suono diretto e suono riflesso.

La massima pressione prodotta da un sistema di altoparlanti nel punto di ascolto dipende da diversi fattori:

- spostamento volumetrico del sistema di altoparlanti
- minima frequenza a cui ottenere questo massimo
- direttività del sistema di altoparlanti
- sensibilità del sistema di altoparlanti
- massima potenza applicabile
- potenza disponibile
- distanza del punto di ascolto
- dimensioni, forma e tempo di riverberazione dell'ambiente.

## Sensibilità e dimensioni della sorgente

Dato che produrre potenza acustica costa lavoro, si preferisce, soprattutto all'aperto e nei grandi spazi, concentrare la potenza acustica dove serve. Lo scopo non è solo risparmiare ma, specie ai concerti all'aperto, anche disturbare il meno possibile il vicinato.

Per concentrare la potenza acustica in una regione limitata di spazio si sfruttano le proprietà delle sorgenti estese e l'interferenza. Le soluzioni a disposizione sono diverse. Tra queste:

Pannelli vibranti	Una ampia superficie le cui parti si muovono in fase (per esempio i pannelli elettrostatici o isodinamici). Non sono molto efficienti e vengono utilizzati in ambito domestico.
Array di altoparlanti	Sistemi costituiti da molte sorgenti montate una vicino all'altra a costituire una sorgente estesa. Aumenta lo spostamento volumetrico e la direttività.
Array a interferenza	Array a colonna dove gli altoparlanti vengono pilotati con ritardi calcolati per ottenere uno specifico pattern di radiazione
Trombe	Dispositivi passivi che aumentano la direttività di una sorgente.
Dispositivi a radiazione cardiode	A volte detti "a gradiente". Il diagramma polare prodotto è una cardioide (produce SPL elevati in una direzione e molto basso nella direzione opposta)

Tubi risonanti	Utilizzabili su banda passante molto stretta (al massimo una ottava)
Dispositivi CAT	In attesa di brevetto e attualmente non commercializzato.

La scelta tra un sistema e l'altro viene fatta in base alle particolari esigenze. Per sonorizzare un concerto di Ligabue si è parlato di 2 milioni di Watt installati (?!). In questi casi il peso e l'ingombro delle attrezzature ha molta importanza e determina la scelta di sistemi compatti e leggeri, magari non particolarmente efficienti, ma capaci di produrre livelli SPL elevati.

Si tenga conto che un amplificatore da 1000 Watt occupa molto meno posto ed è molto più leggero di un diffusore acustico a tromba (ad alta efficienza/sensibilità). L'ambiente domestico è di norma abbastanza limitato da non richiedere grandi concentrazioni di potenza acustica. Chi lo ritiene necessario lo fa, tutti gli altri non lo fanno.

### SPL o rendimento?

Il suono diretto è, per definizione, indipendente dall'ambiente: è sempre lo stesso (sembra strano ma è così).

L'efficienza del diffusore acustico dipende dall'impedenza elettrica che dipende dalla frequenza e cambia notevolmente da un diffusore all'altro. Per questo si preferisce fare riferimento alla sensibilità ovvero alla pressione prodotta dal sistema di altoparlanti, riferita alla distanza di un metro, sull'asse privilegiato di ascolto, applicando al sistema uno stimolo da 2.83 Volt RMS.

Il livello SPL prodotto da una sorgente sonora puntiforme in campo lontano ed in assenza di superfici riflettenti (campo libero) decresce di 6 dB per ogni raddoppio della distanza. In un ambiente chiuso si devono sommare due contributi:

il livello SPL del suono diretto	decresce di 6 dB per ottava (nel campo lontano del sistema)
Il livello SPL del suono riflesso	costante in tutto l'ambiente (in condizioni di campo diffuso, ambiente sabiniano) Negli ambienti non sabiniano l'SPL tende a calare di 3dB per ottava.

In condizioni di campo perfettamente diffuso, il suono diretto ed il suono riflesso sono incoerenti e si sommano "in potenza". Anche questa è una ipotesi perché le prime riflessioni laterali (quelle che limitano lo ITG) non sono quasi mai perfettamente incoerenti rispetto al suono diretto. Se la condizione di campo diffuso non è rispettata, la potenza acustica del campo riflesso non è uniformemente distribuita nello spazio. Gli ambienti domestici non sono sabiniani (tranne rarissime eccezioni che non vale nemmeno la pena considerare). Ne segue che, negli ambienti non sabiniano) l'SPL ottenuto dipende

- dalla posizione della sorgente
- dalla posizione dell'ascoltatore
- alla particolare posizione dei materiali assorbenti

### Distanza di ascolto

In un ambiente chiuso (o un presenza di superfici riflettenti), la distanza di ascolto ottimale è quella che ricrea, per l'ascoltatore, l'equilibrio più gradito tra suono diretto e suono riflesso. Chi ama seguire l'opera lirica dal loggione preferirà la prevalenza del campo riverberato (lontano dagli altoparlanti) mentre, chi sceglie le prime file, preferirà una quantità maggiore di suono diretto (più vicino agli altoparlanti). Chi va ai rave party e balla a un metro da quel genere di casse acustiche pieno di birra fino all'orecchie... è già sordo da un pezzo e non ce ne dobbiamo occupare. Lo stesso vale per chi ascolta a volumi esagerati per lunghi periodi. La scelta del punto di ascolto risponde quindi a esigenze soggettive.

Nota: quando si ascolta a volume troppo alto insorgono gli acufeni. Quando gli acufeni non si sentono più, pur continuando ad ascoltare a volume alto, non significa che ci si è abituati ma che i danni all'udito sono diventati permanenti. A maggior ragione se gli acufeni persistono....

Ne segue che chi preferisce un rapporto tra suono diretto e suono riflesso più sbilanciato a favore del suono riflesso sceglierà un sistema di altoparlanti con un Q basso (Q = fattore di direttività). Il valore minimo di Q è 1 e corrisponde ad una sorgente perfettamente omnidirezionale. Al contrario che preferisce un suono sbilanciato a favore del suono diretto sceglierà un sistema con Q elevato (per esempio trombe che presentano Q a partire da 10 in su). I pannelli dipolari posseggono caratteristiche particolari: benché siano strutturalmente direzionali, irradiano anche posteriormente ma soprattutto irradiano poca energia verso le pareti laterali. La limitazione dei sistemi dipolari è rappresentata dalle dimensioni, dalla risposta alle basse frequenze e da alcuni problemi pratici di installazione.

L'apparato uditivo distingue il suono diretto dal suono riflesso e li processa in modo diverso:

- il suono diretto determina la localizzazione della sorgente e le caratteristiche primarie del suono (rappresentate dagli attributi monodimensionali Calore, Fatica da Ascolto, Forza e Chiarezza)
- il suono riflesso determina la dimensione dell'ambiente e la distanza della sorgente (rappresentate dagli attributi tridimensionali di Spazialità e Brillanza) .

Questo quando le sorgenti sono reali. Nella riproduzione musicale, le sorgenti reali sono due (canali dx e sx) ma il loro scopo è ricostruire una serie di sorgenti virtuali. Quindi, nella riproduzione della musica, dominano le sorgenti virtuali. La capacità di un diffusore acustico di ricostruire una scena acustica verosimile (dove i diffusori non sono percepiti come sorgenti reali) dipende da un insieme di fattori, e tra questi, un ruolo importante viene giocato dalla larghezza del pannello frontale (sempre in rapporto alla distanza del punto di ascolto). I diffusori con un pannello frontale stretto e con bordi arrotondati risultano adatti all'ascolto ravvicinato che è vantaggioso sia nei piccoli ambienti (per questioni di spazio) sia negli ambienti più grandi con un tempo di riverberazione sovrabbondante. Un pannello frontale stretto presenta una probabilità inferiore di produrre slap echo (o glare).

## Esempio

Veniamo ad un esempio pratico con due sistemi di altoparlanti: le JBL Everest e le Opera Callas 2014 sono diffusori acustici diversi in tutto e una di queste differenze riguarda la distanza minima del punto di ascolto. Sia ben chiaro che Everest e Callas 2014 non sono intercambiabili, equivalenti o equiparabili: nascono per esigenze diverse, per ambienti diversi e per utilizzatori diversi (con prezzi diversi). Sono state scelte, in questo esempio, per la loro assoluta diversità e perché entrambe sono state provate da Audio Review (e a tali risultati si farà riferimento).

La sensibilità (SPL@1m/2.83V) della Callas 2014 è stata valutata in 90.5 dB mentre per le Everest sono stati misurati 94.8 dB. La differenza di 4.3 dB corrisponde alla differenza tra un amplificatore da 100 e uno da 269 Watt.

Se la Callas e la Everest fossero fisicamente simili, le si potrebbe confrontare nello stesso ambiente ed alla stessa distanza dal punto di ascolto. Ma la Callas è molto più piccola ed è stata progettata per consentire l'ascolto ravvicinato in ambienti non troppo vasti (fino a 20-30 m<sup>2</sup>) mentre è auspicabile che le Everest siano impiegate in ambienti di dimensioni ben superiori e con un punto di ascolto più lontano (verso i 4-6 metri).

Fatto sta che se poniamo le Callas a 2.44 metri e le Everest a 4 metri dal punto di ascolto, i due diffusori, **a parità di tensione RMS applicata**, producono lo stesso livello SPL di suono diretto (anche a frequenze relativamente basse, in funzione della posizione). Sulle ottave più basse la Everest si avvantaggia per il maggior spostamento volumetrico (SPL massimo sarà superiore). La Callas 2014 può ricreare una scena acustica credibile anche con il punto di ascolto a 1.5 metri, per ottenere lo stesso risultato con le Everest si deve allontanare il punto di ascolto (specie per ottenere un certo rapporto tra suono diretto e riflesso).

Questo esempio ci ricorda che i confronti vanno fatti nelle effettive condizioni d'uso e disponendo i diffusori nelle condizioni previste dal progetto. In generale è poi sempre possibile trovare dei generi musicali (o addirittura singole registrazioni) più congeniali ad un diffusore piuttosto che ad un'altro dando origine a infinite disquisizioni su qualsiasi aspetto soggettivo della riproduzione. Qui abbiamo confrontato l'SPL del campo diretto a distanze diverse: non altro.

Le Callas 2014 non sono sufficienti per sonorizzare una sala di 100 metri quadri mentre le Everest sono fatte probabilmente per quello. Al contrario le Everest non sono adatte ad ambienti al di sotto di una certa cubatura non fosse altro perché fisicamente "non ci stanno". Le Callas sono fatte per i "piccoli ambienti".

Everest e Callas 2014 sono complementari: dove funziona bene una non va bene l'altra e viceversa. Tuttavia la differenza di SPL (di campo diretto) che esse producono nel punto di ascolto, nelle effettive condizioni d'uso, è minore di quanto possano far pensare i dati di sensibilità di targa (diciamo da 100 Hz in su così tutti sono più tranquilli).

Se si valutano le prestazioni dei sistemi di altoparlanti nelle effettive condizioni d'uso, la "alta sensibilità" non è poi così alta e la "bassa sensibilità" non è poi così bassa.

Sensibilità del diffusore in dB 2.83Vrms@1metro	Distanza in metri del punto di ascolto	SPL nel punto di ascolto in dB (suono diretto)	
102	10.00	82.0	In questa tabella sono messi a confronto diffusori con sensibilità diversa. Si suppone che quelli più sensibili siano anche di dimensioni maggiori e debbano essere ascoltati a distanza maggiore. La tabella riporta la distanza alla quale diffusori con sensibilità diversa producono lo stesso valore di pressione SPL nel punto di ascolto.
96	5.00	82.0	
95	4.26	82.0	
94	3.97	82.0	
93	3.54	82.0	
92	3.15	82.0	
91	2.81	82.0	
90	2.51	82.0	
89	2.23	82.0	
88	1.99	82.0	
87	1.77	82.0	Per esempio un diffusore da 93 dB a 4 metri produce lo stesso SPL di un diffusore da 88 dB posto a 2.25 metri dal punto di ascolto.
86	1.58	82.0	
85	1.41	82.0	
84	1.26	82.0	
83	1.12	82.0	
82	1.00	82.0	

Viene considerato il suono diretto di un solo diffusore.  
Con due diffusori in funzione, il valore SPL nel punto di ascolto aumenta da 3 a 6 dB.

In un ambiente da circa 20 metri quadri il punto di ascolto si trova tra 2 e 2.5 metri dai diffusori quindi un diffusore con sensibilità compresa tra 87 e 90 dB (2.83 Volt/ 1 metro) appare adeguato (con un ampli da 100 Watt). La tabella prescinde dal valore dell'impedenza del diffusore. Recentemente Opera ha introdotto sul mercato il modello Opera Prima 2015 con sensibilità di 91.5 dB (reflex 2 vie in 12 litri di volume, Z=4 ohm nominali a norma DIN 45500).

### Densità superficiale dell'altoparlante

Restiamo nel tema dell'alta efficienza o meglio dell'alta sensibilità: più l'equipaggio mobile di un altoparlante è pesante tanto maggiore è la forza necessaria per muoverlo. Ne consegue che per realizzare diffusori ad alta efficienza si deve scegliere un woofer con un equipaggio mobile leggero e un fattore di forza elevato. Ne risulta un fattore di merito totale  $Q_t$  "basso". Ricordiamo che la parte più pesante dell'apparato mobile è la bobina con il suo avvolgimento in rame o alluminio.

La "leggerezza" dell'apparato mobile si valuta attraverso la densità superficiale  $D$  così definita:

$D = 10 \times (\text{massa in grammi}) / (\text{SD in centimetri quadrati})$	$D > 1 \rightarrow$ altoparlante "pesante"
	$D=1$ altoparlante "normale"
	$D < 1 \rightarrow$ altoparlante "leggero".

Leggerezza, rigidità e smorzamento interno di un diaframma sono proprietà antitetiche e tipicamente un diaframma leggero è soggetto a fenomeni di break-up in gamma media che ne degradano la Chiarezza e ne limitano la banda passante utile. Oggi sono disponibili materiali compositi molto rigidi e anche abbastanza leggeri ma il materiale più leggero resta la carta (che tanto rigida non è). Il Nomex sarebbe un valida alternativa ma è igroscopico

Il problema è sostanzialmente nel rapporto dimensioni/benefici oltre che costi/benefici: ridurre la sensibilità di 3 dB (aumentando la massa) richiede il raddoppio la potenza dell'amplificatore ma fa risparmiare sull'ingombro dei diffusori. La tendenza attuale, vista la necessità di ridurre gli ingombri (anche in campo professionale), è quella di utilizzare altoparlanti meno efficienti (a lunga escursione) e amplificatori più potenti.

Per quanto riguarda invece la supposta maggiore "velocità di risposta" di un altoparlante "leggero" rispetto ad uno "pesante" basta conoscere i rudimenti della meccanica e Teoria dei Segnali per rendersi conto che si tratta di un falso problema: a parità di SPL prodotto, altoparlanti con la stessa superficie di radiazione si muovono esattamente alla stessa velocità indipendentemente dalla loro massa (cambia la potenza necessaria). Caso mai si dovrebbe parlare di slew rate meccanico e di banda passante ai grandi segnali. Si scoprirebbe così che i sistemi caratterizzati dalla stessa funzione di trasferimento a fase minima hanno anche, a parità di slew rate, la stessa risposta impulsiva.

Ricordiamo che la funzione di trasferimento di un altoparlante è data dal prodotto della "sua" funzione di trasferimento composta con la funzione di trasferimento dei filtri ad esso applicati (attivi o passivi che siano). In un woofer il filtro passa basso (attivo o passivo che sia) limita la banda passante e, con essa, riduce lo slew rate necessario per seguire le variazioni del segnale. Se il woofer è realizzato decentemente, la risposta impulsiva è determinata dal filtro e non ci sono limitazioni da slew rate..

Fin qui abbiamo parlato di altoparlanti dinamici a cono. Il difetto principale di questo tipo di trasduttore è che la forza che "spinge" il diaframma è applicata in una regione limitata attorno all'apice del cono. Questo origina i break-up della membrana che vengono contrastati irrigidendo la struttura del diaframma stesso. I trasduttori elettrostatici e isodinamici hanno diaframmi estesi, molto leggeri, quasi sempre montati a dipolo. La qualità della riproduzione dell'elettrostatico dipende dalla combinazione di cinque fattori:

- assenza di break up (la forza di pilotaggio è distribuita su tutto il diaframma)
- assenza di mascheramento in gamma media (montaggio a dipolo)
- elevata direttività del suono diretto (che può essere giudicata soggettivamente positiva o negativa)
- la scarsa produzione di riflessioni laterali.
- La radiazione posteriore (che alimenta il campo riflesso)

La sensibilità non è elevata a causa del meccanismo che genera la forza di pilotaggio.

Nell'elettrostatico quei difetti, che nell'altoparlante dinamico si cerca di ridurre aumentando rigidità del diaframma, sono assenti. Se montiamo un elettrostatico in cassa chiusa perdiamo gran parte dei vantaggi, allo stesso modo, se riusciamo ad abbattere le riflessioni interne di un cabinet di un altoparlante in cassa chiusa (o reflex) otteniamo una riproduzione molto migliore. Lo stesso risultato può quindi essere ottenuto per vie diverse.

Non si faccia l'errore di credere che le soluzioni adottate per sonorizzare gli spazi aperti siano indicate anche per sonorizzare gli spazi chiusi: all'aperto ci sono al massimo 2 "pareti" (il pavimento e lo schermo costituito dagli altoparlanti stessi). Un ambiente chiuso di forma parallelepipedica ha 6 pareti e tutte concorrono alla formazione dei modi

normali (assenti all'aperto) e del campo riverberato.