



— = MY + —

PERSONAL
CROSSOVER



1 GENERALITÀ

Il compito di un sistema di diffusione acustica è di riprodurre l'intera gamma audio (20 ÷ 20000 Hz) con una buona linearità e con una pressione (dB) apprezzabile . L'ideale sarebbe disporre di un solo altoparlante che sia in grado di svolgere questo compito senza nessun ulteriore intervento. Questo altoparlante dovrebbe essere abbastanza grande per muovere notevoli masse d'aria indispensabili per produrre pressione a bassa frequenza e nel contempo essere estremamente leggero per riprodurre con sufficiente velocità le frequenze più alte. Per il momento un altoparlante che mostri contemporaneamente queste due caratteristiche allo stato dell'arte, non esiste. E' vero che ci sono tentativi di aggirare il problema costruendo degli altoparlanti di grande diametro con un secondo cono più piccolo e leggero concentrico al grande, che ha il compito di estendere la risposta alle alte frequenze, oppure si utilizzano dei piccoli altoparlanti "full range" montati in carichi acustici particolari (linee di trasmissione, trombe, risonatori a 1/4 d'onda etc.), per compensare la carenza di dinamica a bassa frequenza, oppure ancora realizzando dei sistemi elettrostatici. Queste soluzioni seppure molto interessanti, alcune anche molto costose e complesse, devono sottostare ad una serie di compromessi e non risolvono completamente il problema.

L'alternativa in assoluto più praticata ed efficace è quella di dividere la gamma audio in diverse parti e assegnare ad ognuna di esse l'altoparlante più idoneo. Per esemplificazione dividiamo la gamma in tre parti, la prima sarà costituita dalle basse frequenze e verrà riprodotta da un altoparlante (WOOFER) con una grande superficie di radiazione e capace di notevoli escursioni. La seconda zona interesserà le medie frequenze, e l'altoparlante (MID-RANGE) che le gestirà dovrà avere una massa mobile contenuta unitamente ad una struttura meccanica solida, ciò perché in questa zona è concentrata la maggior parte dell'energia dei programmi musicali. La terza porzione dello spettro audio comprende le alte frequenze e l'altoparlante adatto (TWEETER) avrà una superficie di radiazione ridotta e una massa mobile minima per garantire velocità e precisione agli impulsi. Abbiamo quindi identificato i tre altoparlanti, Woofer; Mid-range e Tweeter che ci permettono di riprodurre in maniera accettabile tutta la gamma audio. (fig. 1)

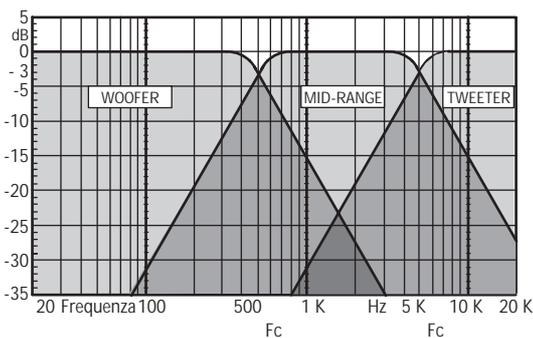


fig. 1

Ora dobbiamo fare in modo che ad ognuno dei tre altoparlanti vengano inviate esclusivamente le frequenze di sua competenza e non le altre, pena un decadimento abissale delle prestazioni se non la distruzione dell'altoparlante ad esempio del tweeter se gli arrivano le basse frequenze che dovevano invece andare sul woofer. Ma come si fa a fare in modo che il woofer riproduca solamente le basse frequenze, il mid-range solamente le medie frequenze ed il tweeter solo le alte frequenze ?.

La risposta è semplice, occorre un FILTRO (o crossover), un dispositivo cioè che è in grado di far passare solamente certe frequenze e bloccare le altre. I filtri possono essere passivi (tra amplificatore ed altoparlanti) ed attivi (tra sorgente e amplificatori) (fig. 2). In questo breve testo ci occuperemo del filtro passivo, sicuramente il tipo più usato dagli autocostruttori.

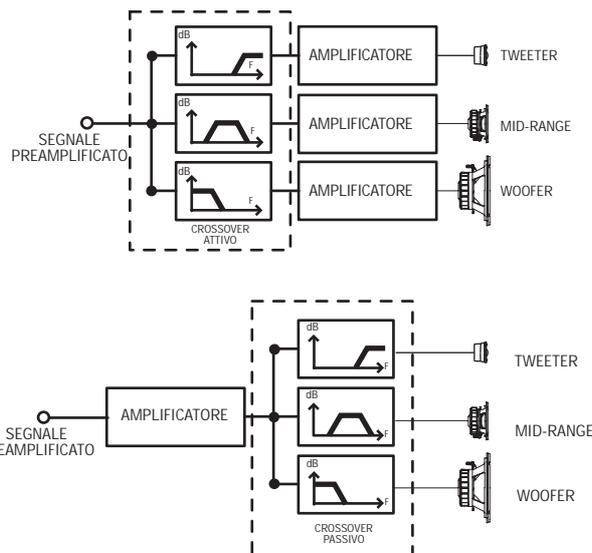


fig.2

2 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il crossover come abbiamo detto è un dispositivo che consente la suddivisione della gamma audio in più sottogamme (comunemente chiamate "vie") ognuna delle quali alimenterà l'altoparlante corrispondente. Per operare l'attenuazione delle frequenze "indesiderate" si sfrutta la proprietà reattiva di alcuni componenti elettrici, soprattutto delle induttanze e dei condensatori.

In particolare l'induttanza mostra una bassa resistenza (tipicamente quella del filo che la costituisce) da 20 Hz fino alla frequenza di intervento, oltre questo valore la resistenza aumenterà con una progressione di 6 dB per ottava (si ricorda che una ottava è l'intervallo tra una qualsiasi frequenza e il suo doppio) fino a 20000 Hz. Il condensatore si comporta esattamente in modo opposto, la sua resistenza diminuirà con l'aumentare della frequenza con una progressione di - 6 dB per ottava.

Proviamo ad applicare questo concetto in pratica. Supponiamo di voler realizzare un sistema formato da un woofer e un tweeter, dovremo quindi dividere la gamma audio in due parti (sistema due vie) ed individuare, in base alle caratteristiche degli altoparlanti ed all'obiettivo del progetto, quale dovrà essere la frequenza di separazione tra le due zone (frequenza di incrocio), per il nostro esempio ipotizziamo una frequenza di 3000 Hz. Inseriremo quindi una induttanza in serie al woofer per attenuare le frequenze superiori a 3000 Hz (passa-basso) e un condensatore in serie al tweeter per attenuare le frequenze inferiori a 3000 Hz (passa-alto) (Fig. 3).

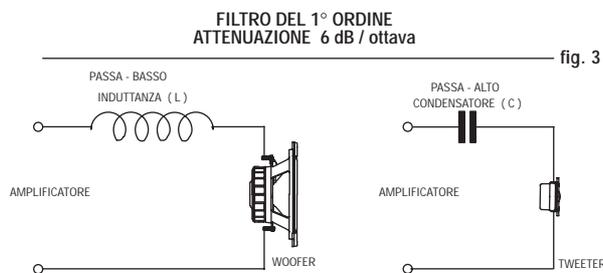


fig. 3

3 IL PASSABANDA

Se vogliamo realizzare un sistema a 3 vie, inserendo nel sistema dell'esempio precedente un mid-range, dovremo assegnare anche ad esso una sottogamma da riprodurre, questa si troverà tra il woofer e il tweeter e sarà delimitata da due frequenze di incrocio, la prima tra il woofer e il

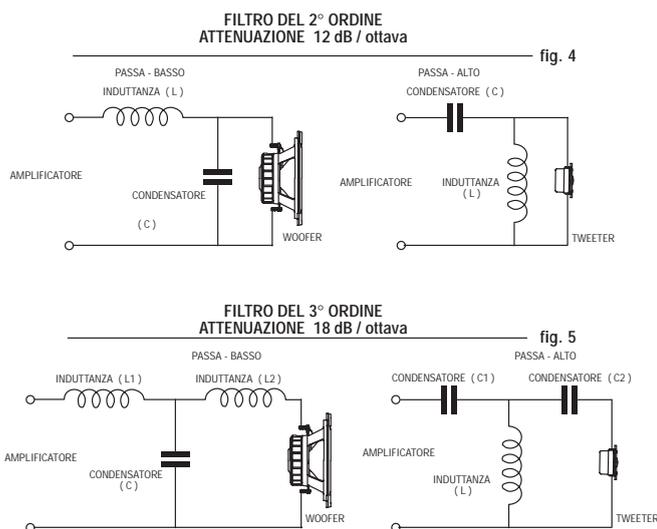


mid-range e la seconda tra il mid-range e il tweeter. La risposta in frequenza di un passa-banda avrà quindi una forma a campana che sarà limitata a bassa frequenza da un passa-alto (incrocio con il woofer) e ad alta frequenza da un passa-basso (incrocio con il tweeter). Per ottenere questa risposta collegheremo un condensatore ed una induttanza in serie tra loro e a loro volta in serie al mid-range.

4 LE PENDENZE DI ATTENUAZIONE E GLI ORDINI

Un filtro come quello dell'esempio precedente viene definito filtro del 1° ordine, formato cioè da un solo componente reattivo per ogni via, che, come abbiamo visto, operano una attenuazione di 6 dB per ottava. Se da un lato questa configurazione è la più semplice, è però da considerare che l'attenuazione di soli 6 dB/ott. potrebbe mettere in crisi gli altoparlanti, principalmente i tweeter ed in misura significativa anche i mid-range a cupola, entrambi molto sensibili a frequenze esterne alla loro gamma soprattutto dal lato bassa frequenza. Per ridurre il contenuto di frequenze esterne alla banda utile si aumenta la pendenza dell'attenuazione. Per far ciò si ricorre ad una altra proprietà dei componenti reattivi (induttanze e condensatori), in base alla quale se si usano più componenti reattivi per ogni via, l'attenuazione complessiva sarà data dal prodotto dell'attenuazione di un componente (6 dB/ott.) per il numero dei componenti stessi, il numero dei componenti inoltre, determinerà anche l'ordine del filtro. Ad esempio se in un passa-basso del 1° ordine, formato da una sola induttanza in serie, aggiungiamo un condensatore in parallelo, il filtro produrrà una attenuazione di 12 dB per ottava e diventerà del 2° ordine (fig. 4). Se aggiungiamo ancora una induttanza in serie, l'attenuazione sarà di 18 dB per ottava, quindi del 3° ordine (fig. 5), e così via. Naturalmente le stesse considerazioni valgono per i filtri passa-alto. Anche per il passa-banda valgono le stesse regole circa l'attenuazione e l'ordine, tuttavia nella progettazione di questo tipo di filtro si deve porre particolare attenzione alla distanza tra le due frequenze di taglio, se sono troppo vicine (distanza inferiore a 3 ottave), le due sezioni, passa-alto e passa-basso, interagiscono tra loro producendo una risposta complessiva non corretta.

Una caratteristica molto importante dei filtri del 2° ordine è la simmetria,



cioè una volta fissata la frequenza di incrocio, entrambe le sezioni utilizzeranno gli stessi componenti di uguale valore, ma invertiti di posizione. Il passa basso è costituito da una induttanza in serie e da un condensatore in parallelo, il passa alto sarà formato da una induttanza dello stesso valore ma collegata in parallelo e da un condensatore dello stesso valore ma collegato in serie.

5 TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE

La zona di incrocio di un filtro riveste una importanza fondamentale sul buon esito di un progetto, poiché in questa si sovrappongono i contributi di due altoparlanti a volte molto diversi tra loro sia come caratteristiche che come timbrica. Il passaggio da un altoparlante all'altro deve avvenire in modo omogeneo e quasi inavvertibile. Per agevolare il raggiungimento di questo obiettivo sono state elaborate diverse teorie che regolano il comportamento del filtro nell'intorno della frequenza di incrocio. Il passaggio dalla zona lineare del filtro (0 dB) alla zona di attenuazione è definito dal fattore di smorzamento (Q). Questo fattore può variare da 0.5 (Linkwitz-Riley) a 1 (Chebychev) Ad esempio il filtro Butterworth del 2° ordine prevede che l'incrocio tra due vie adiacenti avvenga a -3 dB rispetto alla risposta lineare del filtro (0 dB) con Q=0.707, questo produrrà nella risposta complessiva una esaltazione di 3 dB nella zona di incrocio. Nel Linkwitz-Riley del 2° ordine la frequenza di incrocio è a -6 dB, Q=0.5 e produrrà una risposta lineare. Di seguito riassumiamo alcune tra le più diffuse configurazioni con le loro caratteristiche più significative:

- Butterworth 1° ordine
Attenuazione: -6 dB/ott
Frequenza di taglio: -3 dB
Livello all'incrocio: +3 dB
Sfasamento: 90 °
- Butterworth 2° ordine
Attenuazione: -12 dB/ott
Frequenza di taglio: -3 dB
Fattore di merito: 0.707
Livello all'incrocio: +3 dB
Sfasamento: 180 °
- Linkwitz-Riley 2° ordine
Attenuazione: -12 dB/ott
Frequenza di taglio: -6 dB
Fattore di merito: 0.5
Livello all'incrocio: 0 dB
Sfasamento: 180 °
- Bessel 2° ordine
Attenuazione: -6 dB/ott
Frequenza di taglio: -3 dB
Fattore di merito: 0.58
Livello all'incrocio: +1 dB
Sfasamento: 180 °
- Chebychev 2° ordine
Attenuazione: -12 dB/ott
Frequenza di taglio: 0 dB
Fattore di merito: 1
Livello all'incrocio: +6 dB
Sfasamento: 180 °
- Butterworth 3° ordine
Attenuazione: -18 dB/ott
Frequenza di taglio: -3 dB
Fattore di merito: 0.707
Livello all'incrocio: 0 dB
Sfasamento: 90 °



6 LA FASE

Come abbiamo detto in apertura uno degli obiettivi nella realizzazione di un sistema audio è di riuscire ad ottenere una buona linearità su tutta la gamma. Ora supponendo che gli altoparlanti usati abbiano tutti la stessa sensibilità e che siano montati sullo stesso pannello, dovremo fare in modo che anche le zone di transizione tra le varie vie risultino lineari, che cioè la somma tra i contributi di due altoparlanti adiacenti produca una risposta lineare senza esaltazioni o avvallamenti troppo marcati. Più precisamente le emissioni dei due altoparlanti nell'intorno della frequenza di incrocio dovranno arrivare all'ascoltatore in fase tra loro. Questo purtroppo è un risultato difficile da ottenere in quanto i fattori che provocano sfasamenti al segnale sono diversi ed alcuni irrisolvibili (almeno fino a quando non ci sarà quel famoso altoparlante che da solo riproduce tutta la gamma audio). E' vero però che conoscendo quali sono le cause degli sfasamenti più importanti possiamo intervenire per minimizzarli. Il primo passo è sapere quali sfasamenti introduce il tipo di filtro che stiamo usando (vedi elenco precedente) e cercare di correggerli con reti di ritardo passive ben calcolate o in alcuni casi, invertendo la fase di uno dei due altoparlanti (ad esempio nel 2° ordine Butterworth). Un altro fattore che provoca sfasamento è l'offset, cioè la differente distanza dei centri di emissione degli altoparlanti dal piano di appoggio. Identificando il centro di emissione di un altoparlante con la sua bobina mobile, vedremo che in un tweeter questa è molto vicina alla flangia, mentre in un woofer è diversi centimetri indietro. Questo significa che l'emissione del woofer (alla frequenza di incrocio) è in ritardo rispetto al tweeter del tempo necessario al segnale per arrivare in linea con la bobina del tweeter stesso. Il rimedio è abbastanza intuitivo, è necessario fare in modo che le bobine mobili dei due altoparlanti si trovino sullo stesso piano, inclinando opportunamente il pannello frontale del diffusore, oppure realizzando due pannelli distinti e raccordati con un lato obliquo. L'ultimo fattore che determina sfasamenti del segnale è rappresentato dalla distanza tra i centri di emissione degli altoparlanti sul pannello di fissaggio. Infatti dobbiamo tener presente che l'emissione di un altoparlante non avviene soltanto perpendicolarmente al pannello, ma anche lungo il pannello stesso. Alla frequenza di incrocio dove entrambi gli altoparlanti emettono contemporaneamente, le onde che percorrono il pannello si scontreranno a metà distanza tra gli altoparlanti, e per diffrazione una parte di segnale andrà verso l'ascoltatore. Questo segnale sarà ritardato rispetto al segnale originale del tempo impiegato a percorrere metà della distanza tra i due altoparlanti.

Per minimizzare questo problema dovremo fare in modo che la distanza tra di essi sia minore della lunghezza d'onda della frequenza di incrocio (in teoria i centri di emissione dovrebbero essere coincidenti). Risulta evidente che l'entità del problema è direttamente proporzionale alla frequenza. Se consideriamo che la lunghezza d'onda a 5000 Hz è di soli 7 cm ci rendiamo conto che, nel caso di mid-range e tweeter, sarà molto difficile avvicinarli di più.

7 COMPENSAZIONE DELL'IMPEDENZA

Abbiamo visto che ci sono diverse teorie sulla realizzazione dei filtri, ognuna dimostrata da una relazione matematica che lega i valori dei componenti del filtro alle caratteristiche di frequenza di taglio e di ordine del filtro stesso ed ai parametri dell'altoparlante. Se per le caratteristiche del filtro i dati sono certi e reali (la frequenza di taglio e l'ordine li imponiamo noi), per le caratteristiche dell'altoparlante occorre operare una importante generalizzazione, occorre cioè considerare l'altoparlante come un carico puramente resistivo (resistenza costante al variare della frequenza). Purtroppo nella realtà l'altoparlante è ben lungi dal poter essere considerato una resistenza costante, osservando infatti la curva di impedenza (resistenza variabile con la frequenza) di un qualunque altoparlante noteremo che ha un picco alla frequenza di risonanza dell'altoparlante, si mantiene lineare per un breve tratto (zona resistiva) per poi crescere progressivamente fino ai 20 kHz (zona induttiva). Se la zona lineare dell'impedenza (zona resistiva) è abbastanza estesa e la frequenza di taglio scelta

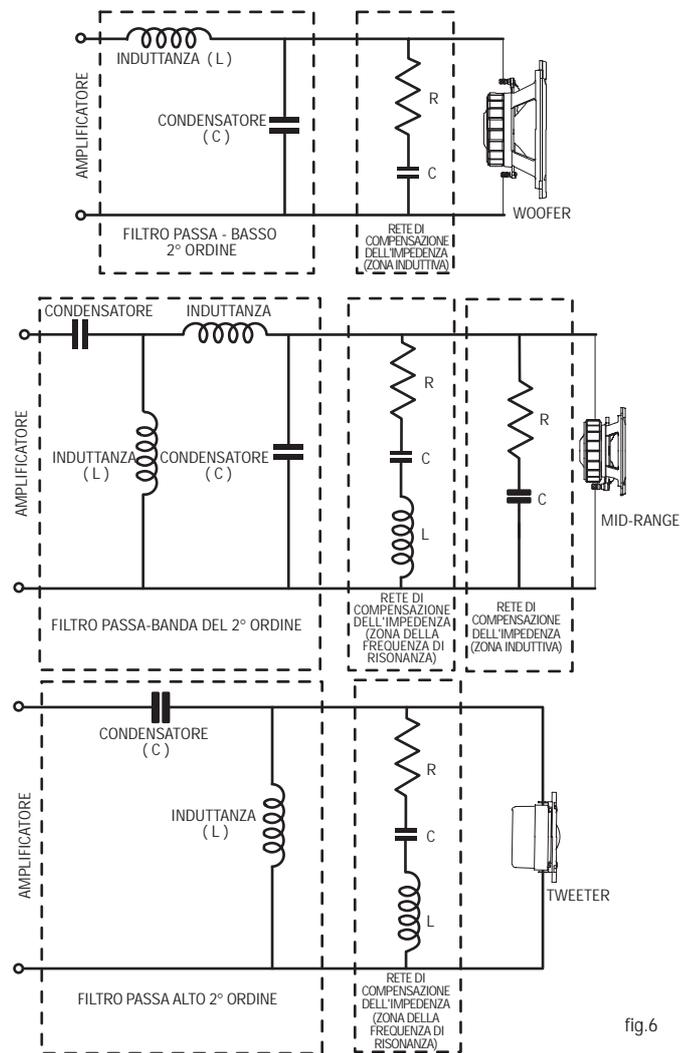


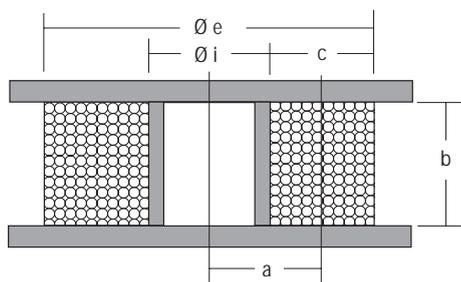
fig.6

cade all'interno di questa, la generalizzazione è più attendibile ed il comportamento del filtro sarà coerente con gli obiettivi di progetto. Se invece la frequenza di taglio interessa una delle altre due zone, per rendere corretto l'intervento del filtro sarà necessario linearizzare l'impedenza con opportune reti di compensazione. Queste reti sono di due tipi, R - C (resistenza e condensatore) per la compensazione della zona induttiva dell'impedenza, R - C - L (resistenza, condensatore e induttanza) per la compensazione della zona della frequenza di risonanza dell'altoparlante. Le reti andranno inserite in parallelo all'altoparlante ed all'uscita del filtro e possono essere usate anche contemporaneamente per avere una impedenza costante su tutta la gamma. Tipicamente l'abbinamento di entrambe le reti viene usato con i mid-range, dove le frequenze di taglio del filtro sono due, una a bassa frequenza ed una a frequenze più alte. Nei woofer è impiegata più comunemente la rete R-C per la compensazione della zona induttiva, in quanto il filtro sarà un passa-basso che agisce in quella zona. Nei tweeter è più utilizzata la rete R-C-L perché il filtro sarà un passa alto ed è frequente che il taglio cada nella zona della sua frequenza di risonanza. Per la disposizione delle reti vedere la **fig. 6**. Nella **tabella 1 di pag 108** sono riportati i valori dei componenti di entrambe le celle per gli altoparlanti da 8 ohm.



8 PROCEDURA DI CALCOLO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE INDUTTANZE

Nella progettazione di filtri crossover, può presentarsi la necessità di realizzare delle induttanze con caratteristiche specifiche, che impieghino ad esempio fili di elevata sezione per minimizzare la resistenza oppure avvolte in aria per evitare problemi di saturazione. Di seguito descriviamo una procedura per il calcolo di induttanze avvolte in aria, basata sulla formula di Wheeler. Trattandosi di una formula parzialmente empirica dove compaiono coefficienti correttivi sperimentali, per ottenere la massima corrispondenza è necessario osservare alcune semplici regole. Nella fase di avvolgimento il filo deve essere ben teso e le spire devono essere a stretto contatto. Ogni strato dell'avvolgimento deve contenere lo stesso numero di spire (tranne eventualmente l'ultimo). Le dimensioni di altezza e larghezza (b e c) dell'avvolgimento dovrebbero essere simili. Per la realizzazione dell'avvolgimento si consiglia di usare un filo da almeno 1 mm di diametro, se possibile anche superiore.



- Øi = diametro interno dell'avvolgimento
- Øe = diametro esterno dell'avvolgimento
- a = distanza tra il centro del rocchetto e il centro dell'avvolgimento (in cm)
 $a = \frac{\text{Øi}}{2} + \frac{c}{2}$
- b = altezza dell'avvolgimento (in cm)
- c = larghezza dell'avvolgimento (in cm)
 $c = \frac{\text{Øe} - \text{Øi}}{2}$
- n = numero delle spire
- L = valore dell'induttanza espresso in µH

Formula originale:

$$L = \frac{0,315 \times a^2 \times n^2}{6a + 9b + 10c}$$

Formula inversa per ricavare il numero delle spire necessarie ad ottenere l'induttanza desiderata:

$$n = \sqrt{\frac{L \times (6a + 9b + 10c)}{0,315 \times a^2}}$$

ESEMPIO:

Si voglia realizzare una induttanza avvolta in aria di valore 2,2 mH. Tenendo conto delle considerazioni espresse sopra impostiamo le dimensioni:

- L = 2,2 mH = 2200 µH
- Øi = 4,5 cm
- Øe = 2,3 cm
- c = $(4,5 - 2,3) / 2 = 1,1$ cm
- a = $2,3/2 + 1,1/2 = 1,7$ cm
- b = 2,6 cm

Applichiamo ora la formula per determinare quante spire dovremo avvolgere per ottenere l'induttanza voluta:

$$n = \sqrt{\frac{2200 \times (10,2 + 23,4 + 11)}{0,315 \times 2,89}} = 328 \text{ spire}$$

Volendo conoscere il numero degli strati dell'avvolgimento, ipotizzando l'impiego di un filo di diametro 1 mm, sarà sufficiente dividere l'altezza dell'avvolgimento (b) per il diametro del filo (nel nostro caso $26 / 1 = 26$), sapremo così quante spire ci sono in ogni strato. Non resta ora che dividere il numero delle spire totali per il numero di spire di ogni strato ($328 / 26 = 12,6$). La nostra induttanza sarà quindi formata da 12 strati di 26 spire ciascuno più un ulteriore strato composto di 6 spire.

9 ATTENUAZIONE DEGLI ALTOPARLANTI

L'ascolto di un diffusore ha una forte componente soggettiva, per questo ascoltando il progetto realizzato si potrebbe desiderare il tweeter più dolce oppure il mid-range meno presente, sentire quindi la necessità di attenuare un componente. La prima soluzione che ci viene in mente è di inserire una resistenza in serie all'altoparlante da attenuare, questo però provoca una variazione del carico sul quale il filtro era stato dimensionato con conseguente variazione della frequenza di taglio e del fattore di merito del filtro stesso e ripercussioni non valutabili sulla risposta in frequenza dell'intero sistema. La soluzione ottimale consiste nel realizzare un partitore resistivo, cioè una opportuna combinazione di due resistenze, una in serie ed una in parallelo all'altoparlante. Questo consente di attenuare il segnale che arriva all'altoparlante ma senza variare il carico. Nella **tabella 2 di pag 108**, sono riportati i valori delle resistenze in funzione di varie impedenze nominali per attenuazioni a passi di 0.5 dB.

10 TABELLE PER IL DIMENSIONAMENTO DI RETI DI FILTRO

Per facilitare il dimensionamento dei filtri, pubblichiamo una serie di tabelle dove sono riportati i valori dei componenti per la realizzazione delle più diffuse tipologie di filtro.

Come è stato detto precedentemente perché questi valori siano attendibili occorre che :

- L'altoparlante possa essere considerato come una resistenza, o quantomeno che la frequenza di taglio cada sulla zona resistiva della curva di impedenza.
- Che i centri di emissione siano allineati, cioè che le bobine mobili si trovino sullo stesso piano.
- Che le distanze tra gli altoparlanti sul pannello frontale siano inversamente proporzionali alla frequenza (ad esempio cercheremo di sistemare il mid-range più vicino possibile al tweeter)

- Tab. 3 : filtri Butterworth del 1° ordine
- Tab. 4 : filtri Butterworth del 2° ordine
- Tab. 5 : filtri Linkwitz-Riley del 2° ordine
- Tab. 6 : filtri Butterworth del 3° ordine (passa basso)
- Tab. 7 : filtri Butterworth del 3° ordine (passa alto)

11 CONCLUSIONI

Questa breve trattazione sui filtri non vuole essere "la verità", ma solo una guida a considerare i diversi aspetti e problematiche che condizionano le scelte e i risultati nella realizzazione di un filtro.

La qualità di un sistema di diffusione non è definita esclusivamente dalla rete di filtro ma in misura notevole anche dalle caratteristiche acustiche degli altoparlanti impiegati, dalle caratteristiche dell'ambiente di ascolto, e non ultimo dal nostro gusto soggettivo.

In definitiva è bene partire da riferimenti certi quali le procedure di calcolo, ma è consigliabile operare una ottimizzazione del sistema, con attente prove di ascolto.



TABELLA 1

MODELLO	CELLA R-L-C			CELLA R-C	
	R Ω	L mH	C μF	R Ω	C μF
HW100	8,2	7,8	325	8,2	13
HW130	10	10,5	467	8,2	13
HW131	8,2	8,3	595	8,2	12
HW132	8,2	8,8	600	8,2	15
HW160	8,2	11	835	8,2	17
HW161	8,2	12,8	680	8,2	15
HW162	8,2	10	925	8,2	15
HW163	7,5	14,5	1000	8,2	20
HW200	8,2	18	730	8,2	20
HW201	8,2	15,8	1170	8,2	20
HW202	7,6	16,4	928	8,2	20
HW203	8,2	11	1470	8,2	20
HW204	7,5	14,7	1000	8,2	20
HW250	8,4	30	1320	8,2	22
HW251	8	22	1400	8,2	24
HW320	8,8	25	1370	8,2	24
HW321	8	20	1980	8,2	24
HW380	8,2	24,5	1000	10	30
HW450	8,2	27	1080	10	30
HM130	10	4,24	66	8,2	10
HM380	8,2	1,27	157	6,8	5,85
HM500	8,2	2,5	47	8,2	4,7
HT200	8,2	1,16	17,3	8,2	1,5
HT260	8,2	2	13	8,2	2
HT262	8,2	1,34	18,2	8,2	1,5
HT264	15	1,2	33	8,2	1,5
WS2500X08	8,2	25	1440	8,2	12
WS1502X08	10	15	440	8,2	12
MS1502X08	12	9	100	8,2	10
TSO38CD08	15	2	14	8,2	2,2
TWIN DRIVER MR	10	5	15	8,2	3,3
TWIN DRIVER TW	27	2,15	4,7	8,2	1

TABELLA 2

ATTENUAZ. dB	IMPEDENZA NOMINALE ALTOPARLANTE Ω									
	2	4	6	8	16	2	4	6	8	16
0,5	0,11	0,22	0,34	0,45	0,90	33,75	67,51	101,26	135,01	270,03
1	0,22	0,43	0,65	0,87	1,74	16,39	32,78	49,17	65,56	131,13
1,5	0,32	0,63	0,95	1,27	2,54	10,61	21,22	31,83	42,44	84,88
2	0,41	0,82	1,23	1,65	3,29	7,72	15,45	23,17	30,90	61,79
2,5	0,50	1,00	1,50	2,00	4,00	6,00	11,99	17,99	23,99	47,97
3	0,58	1,17	1,75	2,34	4,67	4,85	9,70	14,54	19,39	38,78
3,5	0,66	1,33	1,99	2,65	5,31	4,03	8,06	12,09	16,12	32,24
4	0,74	1,48	2,21	2,95	5,90	3,42	6,84	10,26	13,68	27,36
4,5	0,81	1,62	2,43	3,23	6,47	2,95	5,89	8,84	11,79	23,57
5	0,88	1,75	2,63	3,50	7,00	2,57	5,14	7,71	10,28	20,56
5,5	0,94	1,88	2,81	3,75	7,51	2,26	4,53	6,79	9,05	18,11
6	1,00	2,00	2,99	3,99	7,98	2,01	4,02	6,03	8,04	16,08
6,5	1,05	2,11	3,16	4,21	8,43	1,80	3,59	5,39	7,18	14,37
7	1,11	2,21	3,32	4,43	8,85	1,61	3,23	4,84	6,46	12,92
7,5	1,16	2,31	3,47	4,63	9,25	1,46	2,92	4,38	5,83	11,67
8	1,20	2,41	3,61	4,82	9,63	1,32	2,65	3,97	5,29	10,58
8,5	1,25	2,50	3,74	4,99	9,99	1,20	2,41	3,61	4,82	9,63
9	1,29	2,58	3,87	5,16	10,32	1,10	2,20	3,30	4,40	8,80
9,5	1,33	2,66	3,99	5,32	10,64	1,01	2,01	3,02	4,03	8,06
10	1,37	2,74	4,10	5,47	10,94	0,92	1,85	2,77	3,70	7,40

TABELLA 3 FILTRI BUTTERWORTH DEL 1° ORDINE (-6 dB/ott)

Frequenza Hz	IMPEDENZA NOMINALE					
	2 Ω		4 Ω		8 Ω	
	induttanza L mH	capacità C μF	induttanza L mH	capacità C μF	induttanza L mH	capacità C μF
40	7,96	1987,50	15,92	993,75	31,83	496,88
50	6,37	1590,00	12,73	795,00	25,47	397,50
60	5,31	1325,00	10,61	662,50	21,22	331,25
70	4,55	1135,71	9,09	567,86	18,19	283,93
80	3,98	993,75	7,96	496,88	15,92	248,44
90	3,54	883,33	7,07	441,67	14,15	220,83
100	3,18	795,00	6,37	397,50	12,73	198,75
110	2,89	722,73	5,79	361,36	11,58	180,68
120	2,65	662,50	5,31	331,25	10,61	165,63
130	2,45	611,54	4,90	305,77	9,79	152,88
140	2,27	567,86	4,55	283,93	9,09	141,96
150	2,12	530,00	4,24	265,00	8,49	132,50
200	1,59	397,50	3,18	198,75	6,37	99,38
250	1,27	318,00	2,55	159,00	5,09	79,50
300	1,06	265,00	2,12	132,50	4,24	66,25
350	0,91	227,14	1,82	113,57	3,64	56,79
400	0,80	198,75	1,59	99,38	3,18	49,69
450	0,71	176,67	1,41	88,33	2,83	44,17
500	0,64	159,00	1,27	79,50	2,55	39,75
550	0,58	144,55	1,16	72,27	2,32	36,14
800	0,40	99,38	0,80	49,69	1,59	24,84
1000	0,32	79,50	0,64	39,75	1,27	19,88
1250	0,25	63,60	0,51	31,80	1,02	15,90
1500	0,21	53,00	0,42	26,50	0,85	13,25
1750	0,18	45,43	0,36	22,71	0,73	11,36
2000	0,16	39,75	0,32	19,88	0,64	9,94
2250	0,14	35,33	0,28	17,67	0,57	8,83
2500	0,13	31,80	0,25	15,90	0,51	7,95
2750	0,12	28,91	0,23	14,45	0,46	7,23
3000	0,11	26,50	0,21	13,25	0,42	6,63
3250	0,10	24,46	0,20	12,23	0,39	6,12
3500	0,09	22,71	0,18	11,36	0,36	5,68
3750	0,08	21,20	0,17	10,60	0,34	5,30
4000	0,08	19,88	0,16	9,94	0,32	4,97
4250	0,07	18,71	0,15	9,35	0,30	4,68
4500	0,07	17,67	0,14	8,83	0,28	4,42
4750	0,07	16,74	0,13	8,37	0,27	4,18
5000	0,06	15,90	0,13	7,95	0,25	3,98
5250	0,06	15,14	0,12	7,57	0,24	3,79
5500	0,06	14,45	0,12	7,23	0,23	3,61
5750	0,06	13,83	0,11	6,91	0,22	3,46
6000	0,05	13,25	0,11	6,63	0,21	3,31
6250	0,05	12,72	0,10	6,36	0,20	3,18
6500	0,05	12,23	0,10	6,12	0,20	3,06
6750	0,05	11,78	0,09	5,89	0,19	2,94
7000	0,05	11,36	0,09	5,68	0,18	2,84
7250	0,04	10,97	0,09	5,48	0,18	2,74
7500	0,04	10,60	0,08	5,30	0,17	2,65
7750	0,04	10,26	0,08	5,13	0,16	2,56
8000	0,04	9,94	0,08	4,97	0,16	2,48
8250	0,04	9,64	0,08	4,82	0,15	2,41
8500	0,04	9,35	0,07	4,68	0,15	2,34
8750	0,04	9,09	0,07	4,54	0,15	2,27
9000	0,04	8,83	0,07	4,42	0,14	2,21
9250	0,03	8,59	0,07	4,30	0,14	2,15
9500	0,03	8,37	0,07	4,18	0,13	2,09



TABELLA 4 FILTRI BUTTERWORTH DEL 2° ORDINE (-12 dB/ott)

Frequenza Hz	IMPEDENZA NOMINALE					
	2 Ω		4 Ω		8 Ω	
	Induttanza L mH	Capacità C µF	Induttanza L mH	Capacità C µF	Induttanza L mH	Capacità C µF
50	9,00	1125,00	18,01	562,50	36,02	281,25
100	4,50	562,50	9,00	281,25	18,01	140,63
150	3,00	375,00	6,00	187,50	12,01	93,75
200	2,25	281,25	4,50	140,63	9,00	70,31
250	1,80	225,00	3,60	112,50	7,20	56,25
300	1,50	187,50	3,00	93,75	6,00	46,88
350	1,29	160,71	2,57	80,36	5,15	40,18
400	1,13	140,63	2,25	70,31	4,50	35,16
450	1,00	125,00	2,00	62,50	4,00	31,25
500	0,90	112,50	1,80	56,25	3,60	28,13
550	0,82	102,27	1,64	51,14	3,27	25,57
600	0,75	93,75	1,50	46,88	3,00	23,44
650	0,69	86,54	1,39	43,27	2,77	21,63
700	0,64	80,36	1,29	40,18	2,57	20,09
750	0,60	75,00	1,20	37,50	2,40	18,75
800	0,56	70,31	1,13	35,16	2,25	17,58
850	0,53	66,18	1,06	33,09	2,12	16,54
900	0,50	62,50	1,00	31,25	2,00	15,63
950	0,47	59,21	0,95	29,61	1,90	14,80
1000	0,45	56,25	0,90	28,13	1,80	14,06
1250	0,36	45,00	0,72	22,50	1,44	11,25
1500	0,30	37,50	0,60	18,75	1,20	9,38
1750	0,26	32,14	0,51	16,07	1,03	8,04
2000	0,23	28,13	0,45	14,06	0,90	7,03
2250	0,20	25,00	0,40	12,50	0,80	6,25
2500	0,18	22,50	0,36	11,25	0,72	5,63
2750	0,16	20,45	0,33	10,23	0,65	5,11
3000	0,15	18,75	0,30	9,38	0,60	4,69
3250	0,14	17,31	0,28	8,65	0,55	4,33
3500	0,13	16,07	0,26	8,04	0,51	4,02
3750	0,12	15,00	0,24	7,50	0,48	3,75
4000	0,11	14,06	0,23	7,03	0,45	3,52
4250	0,11	13,24	0,21	6,62	0,42	3,31
4500	0,10	12,50	0,20	6,25	0,40	3,13
4750	0,09	11,84	0,19	5,92	0,38	2,96
5000	0,09	11,25	0,18	5,63	0,36	2,81
5250	0,09	10,71	0,17	5,36	0,34	2,68
5500	0,08	10,23	0,16	5,11	0,33	2,56
5750	0,08	9,78	0,16	4,89	0,31	2,45
6000	0,08	9,38	0,15	4,69	0,30	2,34
6250	0,07	9,00	0,14	4,50	0,29	2,25
6500	0,07	8,65	0,14	4,33	0,28	2,16
6750	0,07	8,33	0,13	4,17	0,27	2,08
7000	0,06	8,04	0,13	4,02	0,26	2,01
7250	0,06	7,76	0,12	3,88	0,25	1,94
7500	0,06	7,50	0,12	3,75	0,24	1,88
7750	0,06	7,26	0,12	3,63	0,23	1,81
8000	0,06	7,03	0,11	3,52	0,23	1,76
8250	0,05	6,82	0,11	3,41	0,22	1,70
8500	0,05	6,62	0,11	3,31	0,21	1,65
8750	0,05	6,43	0,10	3,21	0,21	1,61
9000	0,05	6,25	0,10	3,13	0,20	1,56
9250	0,05	6,08	0,10	3,04	0,19	1,52
9500	0,05	5,92	0,09	2,96	0,19	1,48
9750	0,05	5,77	0,09	2,88	0,18	1,44
10000	0,05	5,63	0,09	2,81	0,18	1,41

TABELLA 5 FILTRI LINKWITZ-RILEY DEL 2° ORDINE (-12 dB/ott)

Frequenza Hz	IMPEDENZA NOMINALE					
	2 Ω		4 Ω		8 Ω	
	Induttanza L mH	Capacità C µF	Induttanza L mH	Capacità C µF	Induttanza L mH	Capacità C µF
50	12,73	796,00	25,46	398,00	50,93	199,00
100	6,37	398,00	12,73	199,00	25,46	99,50
150	4,24	265,33	8,49	132,67	16,98	66,33
200	3,18	199,00	6,37	99,50	12,73	49,75
250	2,55	159,20	5,09	79,60	10,19	39,80
300	2,12	132,67	4,24	66,33	8,49	33,17
350	1,82	113,71	3,64	56,86	7,28	28,43
400	1,59	99,50	3,18	49,75	6,37	24,88
450	1,41	88,44	2,83	44,22	5,66	22,11
500	1,27	79,60	2,55	39,80	5,09	19,90
550	1,16	72,36	2,31	36,18	4,63	18,09
600	1,06	66,33	2,12	33,17	4,24	16,58
650	0,98	61,23	1,96	30,62	3,92	15,31
700	0,91	56,86	1,82	28,43	3,64	14,21
750	0,85	53,07	1,70	26,53	3,40	13,27
800	0,80	49,75	1,59	24,88	3,18	12,44
850	0,75	46,82	1,50	23,41	3,00	11,71
900	0,71	44,22	1,41	22,11	2,83	11,06
950	0,67	41,89	1,34	20,95	2,68	10,47
1000	0,64	39,80	1,27	19,90	2,55	9,95
1250	0,51	31,84	1,02	15,92	2,04	7,96
1500	0,42	26,53	0,85	13,27	1,70	6,63
1750	0,36	22,74	0,73	11,37	1,46	5,69
2000	0,32	19,90	0,64	9,95	1,27	4,98
2250	0,28	17,69	0,57	8,84	1,13	4,42
2500	0,25	15,92	0,51	7,96	1,02	3,98
2750	0,23	14,47	0,46	7,24	0,93	3,62
3000	0,21	13,27	0,42	6,63	0,85	3,32
3250	0,20	12,25	0,39	6,12	0,78	3,06
3500	0,18	11,37	0,36	5,69	0,73	2,84
3750	0,17	10,61	0,34	5,31	0,68	2,65
4000	0,16	9,95	0,32	4,98	0,64	2,49
4250	0,15	9,36	0,30	4,68	0,60	2,34
4500	0,14	8,84	0,28	4,42	0,57	2,21
4750	0,13	8,38	0,27	4,19	0,54	2,09
5000	0,13	7,96	0,25	3,98	0,51	1,99
5250	0,12	7,58	0,24	3,79	0,49	1,90
5500	0,12	7,24	0,23	3,62	0,46	1,81
5750	0,11	6,92	0,22	3,46	0,44	1,73
6000	0,11	6,63	0,21	3,32	0,42	1,66
6250	0,10	6,37	0,20	3,18	0,41	1,59
6500	0,10	6,12	0,20	3,06	0,39	1,53
6750	0,09	5,90	0,19	2,95	0,38	1,47
7000	0,09	5,69	0,18	2,84	0,36	1,42
7250	0,09	5,49	0,18	2,74	0,35	1,37
7500	0,08	5,31	0,17	2,65	0,34	1,33
7750	0,08	5,14	0,16	2,57	0,33	1,28
8000	0,08	4,98	0,16	2,49	0,32	1,24
8250	0,08	4,82	0,15	2,41	0,31	1,21
8500	0,07	4,68	0,15	2,34	0,30	1,17
8750	0,07	4,55	0,15	2,27	0,29	1,14
9000	0,07	4,42	0,14	2,21	0,28	1,11
9250	0,07	4,30	0,14	2,15	0,28	1,08
9500	0,07	4,19	0,13	2,09	0,27	1,05
9750	0,07	4,08	0,13	2,04	0,26	1,02
10000	0,06	3,98	0,13	1,99	0,25	1,00



TABELLA 6 FILTRI BUTTERWORTH PASSA-BASSO DEL 3° ORDINE (-18 dB/ott)

Frequenza Hz	IMPEDENZA NOMINALE								
	2 Ω			4 Ω			8 Ω		
	Induttanza L1 mH	Capacità C1 µF	Induttanza L2 mH	Induttanza L1 mH	Capacità C1 µF	Induttanza L2 mH	Induttanza L1 mH	Capacità C1 µF	Induttanza L2 mH
50	9,55	2122,00	3,18	19,10	1061,00	6,37	38,19	530,50	12,74
100	4,77	1061,00	1,59	9,55	530,50	3,18	19,10	265,25	6,37
150	3,18	707,33	1,06	6,37	353,67	2,12	12,73	176,83	4,25
200	2,39	530,50	0,80	4,77	265,25	1,59	9,55	132,63	3,18
250	1,91	424,40	0,64	3,82	212,20	1,27	7,64	106,10	2,55
300	1,59	353,67	0,53	3,18	176,83	1,06	6,37	88,42	2,12
350	1,36	303,14	0,45	2,73	151,57	0,91	5,46	75,79	1,82
400	1,19	265,25	0,40	2,39	132,63	0,80	4,77	66,31	1,59
450	1,06	235,78	0,35	2,12	117,89	0,71	4,24	58,94	1,42
500	0,95	212,20	0,32	1,91	106,10	0,64	3,82	53,05	1,27
550	0,87	192,91	0,29	1,74	96,45	0,58	3,47	48,23	1,16
600	0,80	176,83	0,27	1,59	88,42	0,53	3,18	44,21	1,06
650	0,73	163,23	0,24	1,47	81,62	0,49	2,94	40,81	0,98
700	0,68	151,57	0,23	1,36	75,79	0,45	2,73	37,89	0,91
750	0,64	141,47	0,21	1,27	70,73	0,42	2,55	35,37	0,85
800	0,60	132,63	0,20	1,19	66,31	0,40	2,39	33,16	0,80
850	0,56	124,82	0,19	1,12	62,41	0,37	2,25	31,21	0,75
900	0,53	117,89	0,18	1,06	58,94	0,35	2,12	29,47	0,71
950	0,50	111,68	0,17	1,01	55,84	0,34	2,01	27,92	0,67
1000	0,48	106,10	0,16	0,95	53,05	0,32	1,91	26,53	0,64
1250	0,38	84,88	0,13	0,76	42,44	0,25	1,53	21,22	0,51
1500	0,32	70,73	0,11	0,64	35,37	0,21	1,27	17,68	0,42
1750	0,27	60,63	0,09	0,55	30,31	0,18	1,09	15,16	0,36
2000	0,24	53,05	0,08	0,48	26,53	0,16	0,95	13,26	0,32
2250	0,21	47,16	0,07	0,42	23,58	0,14	0,85	11,79	0,28
2500	0,19	42,44	0,06	0,38	21,22	0,13	0,76	10,61	0,25
2750	0,17	38,58	0,06	0,35	19,29	0,12	0,69	9,65	0,23
3000	0,16	35,37	0,05	0,32	17,68	0,11	0,64	8,84	0,21
3250	0,15	32,65	0,05	0,29	16,32	0,10	0,59	8,16	0,20
3500	0,14	30,31	0,05	0,27	15,16	0,09	0,55	7,58	0,18
3750	0,13	28,29	0,04	0,25	14,15	0,08	0,51	7,07	0,17
4000	0,12	26,53	0,04	0,24	13,26	0,08	0,48	6,63	0,16
4250	0,11	24,96	0,04	0,22	12,48	0,07	0,45	6,24	0,15
4500	0,11	23,58	0,04	0,21	11,79	0,07	0,42	5,89	0,14
4750	0,10	22,34	0,03	0,20	11,17	0,07	0,40	5,58	0,13
5000	0,10	21,22	0,03	0,19	10,61	0,06	0,38	5,31	0,13
5250	0,09	20,21	0,03	0,18	10,10	0,06	0,36	5,05	0,12
5500	0,09	19,29	0,03	0,17	9,65	0,06	0,35	4,82	0,12
5750	0,08	18,45	0,03	0,17	9,23	0,06	0,33	4,61	0,11
6000	0,08	17,68	0,03	0,16	8,84	0,05	0,32	4,42	0,11
6250	0,08	16,98	0,03	0,15	8,49	0,05	0,31	4,24	0,10
6500	0,07	16,32	0,02	0,15	8,16	0,05	0,29	4,08	0,10
6750	0,07	15,72	0,02	0,14	7,86	0,05	0,28	3,93	0,09
7000	0,07	15,16	0,02	0,14	7,58	0,05	0,27	3,79	0,09
7250	0,07	14,63	0,02	0,13	7,32	0,04	0,26	3,66	0,09
7500	0,06	14,15	0,02	0,13	7,07	0,04	0,25	3,54	0,08
7750	0,06	13,69	0,02	0,12	6,85	0,04	0,25	3,42	0,08
8000	0,06	13,26	0,02	0,12	6,63	0,04	0,24	3,32	0,08
8250	0,06	12,86	0,02	0,12	6,43	0,04	0,23	3,22	0,08
8500	0,06	12,48	0,02	0,11	6,24	0,04	0,22	3,12	0,07
8750	0,05	12,13	0,02	0,11	6,06	0,04	0,22	3,03	0,07
9000	0,05	11,79	0,02	0,11	5,89	0,04	0,21	2,95	0,07
9250	0,05	11,47	0,02	0,10	5,74	0,03	0,21	2,87	0,07
9500	0,05	11,17	0,02	0,10	5,58	0,03	0,20	2,79	0,07
9750	0,05	10,88	0,02	0,10	5,44	0,03	0,20	2,72	0,07
10000	0,05	10,61	0,02	0,10	5,31	0,03	0,19	2,65	0,06

TABELLA 7 FILTRI BUTTERWORTH PASSA-ALTO DEL 3° ORDINE (-18 dB/ott)

Frequenza Hz	IMPEDENZA NOMINALE								
	2 Ω			4 Ω			8 Ω		
	Capacità C1 µF	Induttanza L1 mH	Capacità C2 µF	Capacità C1 µF	Induttanza L1 mH	Capacità C2 µF	Capacità C1 µF	Induttanza L1 mH	Capacità C2 µF
50	1061,00	4,78	3183,00	530,50	9,55	1591,50	265,25	19,10	795,75
100	530,50	2,39	1591,50	265,25	4,78	795,75	132,63	9,55	397,88
150	353,67	1,59	1061,00	176,83	3,18	530,50	88,42	6,37	265,25
200	265,25	1,19	795,75	132,63	2,39	397,88	66,31	4,78	198,94
250	212,20	0,96	636,60	106,10	1,91	318,30	53,05	3,82	159,15
300	176,83	0,80	530,50	88,42	1,59	265,25	44,21	3,18	132,63
350	151,57	0,68	454,71	75,79	1,36	227,36	37,89	2,73	113,68
400	132,63	0,60	397,88	66,31	1,19	198,94	33,16	2,39	99,47
450	117,89	0,53	353,67	58,94	1,06	176,83	29,47	2,12	88,42
500	106,10	0,48	318,30	53,05	0,96	159,15	26,53	1,91	79,58
550	96,45	0,43	289,36	48,23	0,87	144,68	24,11	1,74	72,34
600	88,42	0,40	265,25	44,21	0,80	132,63	22,10	1,59	66,31
650	81,62	0,37	244,85	40,81	0,73	122,42	20,40	1,47	61,21
700	75,79	0,34	227,36	37,89	0,68	113,68	18,95	1,36	56,84
750	70,73	0,32	212,20	35,37	0,64	106,10	17,68	1,27	53,05
800	66,31	0,30	198,94	33,16	0,60	99,47	16,58	1,19	49,73
850	62,41	0,28	187,24	31,21	0,56	93,62	15,60	1,12	46,81
900	58,94	0,27	176,83	29,47	0,53	88,42	14,74	1,06	44,21
950	55,84	0,25	167,53	27,92	0,50	83,76	13,96	1,01	41,88
1000	53,05	0,24	159,15	26,53	0,48	79,58	13,26	0,96	39,79
1250	42,44	0,19	127,32	21,22	0,38	63,66	10,61	0,76	31,83
1500	35,37	0,16	106,10	17,68	0,32	53,05	8,84	0,64	26,53
1750	30,31	0,14	90,94	15,16	0,27	45,47	7,58	0,55	22,74
2000	26,53	0,12	79,58	13,26	0,24	39,79	6,63	0,48	19,89
2250	23,58	0,11	70,73	11,79	0,21	35,37	5,89	0,42	17,68
2500	21,22	0,10	63,66	10,61	0,19	31,83	5,31	0,38	15,92
2750	19,29	0,09	57,87	9,65	0,17	28,94	4,82	0,35	14,47
3000	17,68	0,08	53,05	8,84	0,16	26,53	4,42	0,32	13,26
3250	16,32	0,07	48,97	8,16	0,15	24,48	4,08	0,29	12,24
3500	15,16	0,07	45,47	7,58	0,14	22,74	3,79	0,27	11,37
3750	14,15	0,06	42,44	7,07	0,13	21,22	3,54	0,25	10,61
4000	13,26	0,06	39,79	6,63	0,12	19,89	3,32	0,24	9,95
4250	12,48	0,06	37,45	6,24	0,11	18,72	3,12	0,22	9,36
4500	11,79	0,05	35,37	5,89	0,11	17,68	2,95	0,21	8,84
4750	11,17	0,05	33,51	5,58	0,10	16,75	2,79	0,20	8,38
5000	10,61	0,05	31,83	5,31	0,10	15,92	2,65	0,19	7,96
5250	10,10	0,05	30,31	5,05	0,09	15,16	2,53	0,18	7,58
5500	9,65	0,04	28,94	4,82	0,09	14,47	2,41	0,17	7,23
5750	9,23	0,04	27,68	4,61	0,08	13,84	2,31	0,17	6,92
6000	8,84	0,04	26,53	4,42	0,08	13,26	2,21	0,16	6,63
6250	8,49	0,04	25,46	4,24	0,08	12,73	2,12	0,15	6,37
6500	8,16	0,04	24,48	4,08	0,07	12,24	2,04	0,15	6,12
6750	7,86	0,04	23,58	3,93	0,07	11,79	1,96	0,14	5,89
7000	7,58	0,03	22,74	3,79	0,07	11,37	1,89	0,14	5,68
7250	7,32	0,03	21,95	3,66	0,07	10,98	1,83	0,13	5,49
7500	7,07	0,03	21,22	3,54	0,06	10,61	1,77	0,13	5,31
7750	6,85	0,03	20,54	3,42	0,06	10,27	1,71	0,12	5,13
8000	6,63	0,03	19,89	3,32	0,06	9,95	1,66	0,12	4,97
8250	6,43	0,03	19,29	3,22	0,06	9,65	1,61	0,12	4,82
8500	6,24	0,03	18,72	3,12	0,06	9,36	1,56	0,11	4,68
8750	6,06	0,03	18,19	3,03	0,05	9,09	1,52	0,11	4,55
9000	5,89	0,03	17,68	2,95	0,05	8,84	1,47	0,11	4,42
9250	5,74	0,03	17,21	2,87	0,05	8,60	1,43	0,10	4,30
9500	5,58	0,03	16,75	2,79	0,05	8,38	1,40	0,10	4,19
9750	5,44	0,02	16,32	2,72	0,05	8,16	1,36	0,10	4,08
10000	5,31	0,02	15,92	2,65	0,05	7,96	1,33	0,10	3,98