

IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE

1. — IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE SINGOLO.

Il trasformatore d'uscita.

L'altoparlante è collegato alla valvola finale dell'amplificatore mediante un trasformatore a rapporto discendente, detto *trasformatore d'uscita*. È costituito dal nucleo di ferro e da due avvolgimenti di filo di rame smaltato; uno di essi è formato da molte spire e vien detto *primario*, l'altro è formato da poche spire e vien detto *secondario*. Il primario è inserito nel circuito di placca della valvola finale; il secondario è invece collegato alla bobina mobile dell'altoparlante.

La bobina mobile deve essere leggera e sottile, per potersi muovere entro il sottile traferro del magnete, e non può essere formata che da poche spire di filo di rame

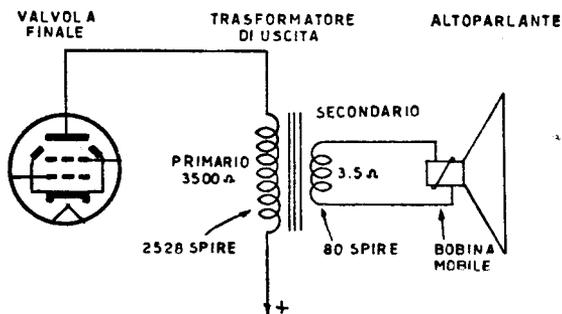


Fig. 4.1.

smaltato; la resistenza che queste spire oppongono alle audiofrequenze è solo di qualche ohm, generalmente da 2 a 3,5 ohm per gli altoparlanti piccoli e da 6 a 20 ohm negli altoparlanti grandi. Vien detta *impedenza della bobina mobile*.

La valvola finale di potenza si comporta come una resistenza di valore elevato, e funziona normalmente solo se nel suo circuito di placca è presente una adeguata *resistenza di carico*, costituita dall'avvolgimento primario del trasformatore d'uscita. La resistenza di carico viene anche detta *resistenza ottima nel carico anodico* o *impedenza di carico anodico* o *impedenza di carico esterno*. Questi termini sono equivalenti.

La resistenza di carico della valvola dipende dal tipo della valvola stessa e dalle

sue condizioni di lavoro, ossia dalle tensioni ad essa applicate. È compresa tra 1500 ohm e 18 000 ohm.

Il trasformatore d'uscita ha il compito di trasferire la potenza dell'amplificatore all'altoparlante, ciò che non sarebbe altrimenti possibile data la diversità tra le due impedenze. Se la bobina mobile venisse posta direttamente nel circuito di placca della valvola finale, senza il trasformatore, essa si comporterebbe come una resistenza di pochi ohm posta in serie con altra di migliaia di ohm. Le due resistenze formerebbero un divisore di tensione, e la tensione ai capi della bobina mobile risulterebbe praticamente zero.

Sarebbe possibile eliminare il trasformatore d'uscita elevando l'impedenza della bobina mobile di quanto necessario, circa un migliaio di volte, ma ciò richiederebbe un avvolgimento di moltissime spire, il che la appesantirebbe notevolmente. Un tempo vennero usati, specie in Germania, altoparlanti con bobina mobile ad alta impedenza, di 3500 ohm, per usare i quali non era necessario il trasformatore d'uscita. Il risultato era discreto, ma non buono.

Il carico della valvola finale è costituito dalla bobina mobile dell'altoparlante, anche quando vi è il trasformatore d'uscita, un po' come il carico del motore di una motonave è costituito dall'elica. Il trasformatore d'uscita rappresenta una specie di riduttore di giri; l'elica non può girare alla stessa velocità del motore, poichè deve « applicare » la potenza all'acqua, così come la bobina mobile applica la potenza al cono diffusore e quindi all'aria.

Mentre nel circuito di placca della valvola finale vi è molta tensione e poca corrente, nel circuito della bobina mobile vi è poca tensione ma molta corrente, come necessario.

RAPPORTO IMPEDENZE E RAPPORTO SPIRE. — Il rapporto tra l'impedenza del primario e l'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita è detto *rapporto impedenze*. Se, ad es., l'impedenza del primario è di 3500 ohm e l'impedenza del secondario è di 3,5 ohm, il rapporto impedenze è di $3500 : 3,5 = 1000$.

Il rapporto tra il numero di spire dell'avvolgimento primario ed il numero di spire dell'avvolgimento secondario è detto *rapporto spire*. Con il termine *rapporto del trasformatore d'uscita*, s'intende appunto il rapporto spire.

Il rapporto spire risulta dalla radice quadrata del rapporto impedenze. Perciò se il rapporto impedenze è di 1000, il rapporto spire è di 31,6.

Se, ad esempio, l'impedenza di 3500 ohm del primario è ottenuta con 2528 spire, e se il rapporto del trasformatore è di 31,6 il numero di spire del secondario sarà di $2528 : 31,6 = 80$ spire.

Resistenza di carico delle principali valvole.

Il trasformatore d'uscita deve essere adatto per la valvola finale con la quale deve funzionare. Poichè la resistenza di carico varia a seconda del tipo della valvola, vi è un trasformatore d'uscita per ciascun tipo di valvola finale, o meglio per ciascun gruppo di valvole finali richiedenti la stessa resistenza di carico.

VALVOLE DI TIPO AMERICANO:

La miniatura finale **50B5** e la **25L6 GT** richiedono entrambe il carico anodico di 2500 ohm, funzionando a 110 volt di placca e di schermo.

La **50L6** richiede 2000 ohm di carico anodico con 110 volt di placca e di schermo, e quello di 3000 ohm se viene fatta funzionare con 200 volt di placca e 110 volt di schermo.

La **6L6** richiede 2500 ohm di carico anodico se funzionante con 250 volt di placca e di schermo, e — 14 volt di polarizzazione di griglia; richiede invece 4200 ohm se funzionante con 350 volt di placca, 250 volt di schermo e — 18 volt di griglia.

La **6AQ5** e la **6V6** richiedono 5500 ohm se funzionanti con 180 volt di placca e di schermo, richiedono 5000 ohm con 250 volt di placca e di schermo, e 8500 ohm con 315 volt di placca e 225 volt di schermo.

La **6F6** richiede 7000 ohm, la **6K6** richiede 12 000 ohm di carico se funzionante con 100 volt di placca e di schermo, e 7600 ohm se funzionante con 250 volt di placca e di schermo.

Infine i vecchi triodi del tipo 45, 50, 2A3 ecc, richiedono 3500 ohm di carico, ed i vecchi pentodi del tipo 47, 2A5, 41, 42 ecc. richiedono 7000 ohm di carico.

VALVOLE DI TIPO EUROPEO:

Con tensioni normali di placca, schermo e griglia, le seguenti valvole finali di tipo europeo richiedono il carico anodico di:

EL 3	7000 ohm	EL 34	2550 ohm
EL 6	3500 ohm	EL 41	7000 ohm
EL 11	7000 ohm	EL 50	18000 ohm
EL 33	7000 ohm		

Il carico anodico di 1 000 ohm per la EL50 s'intende per due valvole finali in controfase. Il carico di 2500 ohm della EL34 s'intende con 250 volt di placca, 270 volt di schermo e 12,4 volt di catodo. Con due EL41 in controfase, l'impedenza primaria deve essere di 9000 ohm.

Determinazione del rapporto del trasformatore d'uscita.

Risulta dalla formula seguente:

$$\text{Rapporto del trasformatore d'uscita} = \sqrt{\frac{\text{Resistenza ottima di carico della valvola}}{\text{Impedenza della bobina mobile}}}$$

Se, ad es. si tratta di accoppiare un altoparlante con bobina mobile da 3,5 ohm con una valvola finale 50L6, la cui resistenza ottima di carico è di 2000 ohm, è necessario che il rapporto del trasformatore d'uscita sia di 24 a 1, infatti:

$$\sqrt{\frac{2000}{3,5}} = \sqrt{570} = 24$$

Se l'avvolgimento primario del trasformatore d'uscita è di 4800 spire, quello del secondario dovrà essere di $4800 : 24 = 200$ spire, affinché il rapporto risulti di 24 a 1, come necessario.

La formula indicata risulta dal fatto che per i trasformatori in generale, le impedenze sono proporzionali al quadrato delle spire, ossia:

$$\frac{(\text{Numero spire primario})^2}{(\text{Numero spire secondario})^2} = \frac{\text{Impedenza primario}}{\text{Impedenza secondario}}$$

Nel caso di un trasformatore con rapporto 20 a 1, con impedenza secondario di 3,5 ohm, l'impedenza primario risulta come segue:

$$\frac{20^2}{1} = \frac{\text{Impedenza primario}}{3,5}$$

poichè $20^2 : 1 = 400$, l'impedenza del primario è di $400 \times 3,5 = 1400$ ohm.

Quanto sopra equivale a dire che le spire sono proporzionali alla radice quadrata del rapporto delle impedenze, ossia che:

$$\frac{\text{Numero spire primario}}{\text{Numero spire secondario}} = \sqrt{\frac{\text{Impedenza primario}}{\text{Impedenza secondario}}}$$

poichè l'impedenza primario è costituita dalla resistenza ottima di carico della valvola finale, e l'impedenza secondaria da quella della bobina mobile dell'altoparlante, risulta la formula generale indicata all'inizio per trovare il rapporto del trasformatore d'uscita.

Il grafico di fig. 4.2 consente la rapida determinazione del rapporto del trasformatore d'uscita necessario per accoppiare qualsiasi altoparlante con bobina mobile sino a 10 ohm con qualsiasi valvola finale, della quale sia nota la resistenza ottima di carico. Nel caso dell'esempio fatto all'inizio, di altoparlante con bobina mobile da 3,5 ohm da accoppiare con valvola richiedente la resistenza di carico di 2000, basta trovare il punto di intersecazione tra 3,5 e 2000, e quindi seguire la linea inclinata, la quale porta all'arco di cerchio sul quale sono segnati i valori dei rapporti del trasformatore, in questo caso 24.

L'uso del grafico risulta di utilità pratica poichè uno stesso trasformatore d'uscita può servire per diversi accoppiamenti, ad es. il trasformatore rapporto 24 a 1 può servire oltre che per accoppiare la bobina mobile di 3,5 ohm con la valvola 50L6, anche per accoppiare un altoparlante con bobina mobile di 6 ohm con una valvola EL6, richiedente il carico di 3500 ohm, oppure un altoparlante di 9,5 ohm con valvola 6AQ5 richiedente 5500 ohm di carico. Basta percorrere una data linea inclinata, quella corrispondente al trasformatore d'uscita disponibile, per constatare tutte le possibili applicazioni dello stesso.

Nello stesso modo si può trovare facilmente il numero di spire che occorre abbia il secondario di un dato trasformatore d'uscita per una data applicazione. Le spire

del secondario sono avvolte all'esterno, per cui è facile togliere alcune di esse qualora sia necessario aumentare il rapporto del trasformatore, per es. da 24 a 28 o a 30, e non è difficile aggiungerne alcune qualora sia necessario diminuire il rapporto, da 24 a 20 o a 18. È anche possibile, con un mezzo così semplice, determinare il nu-

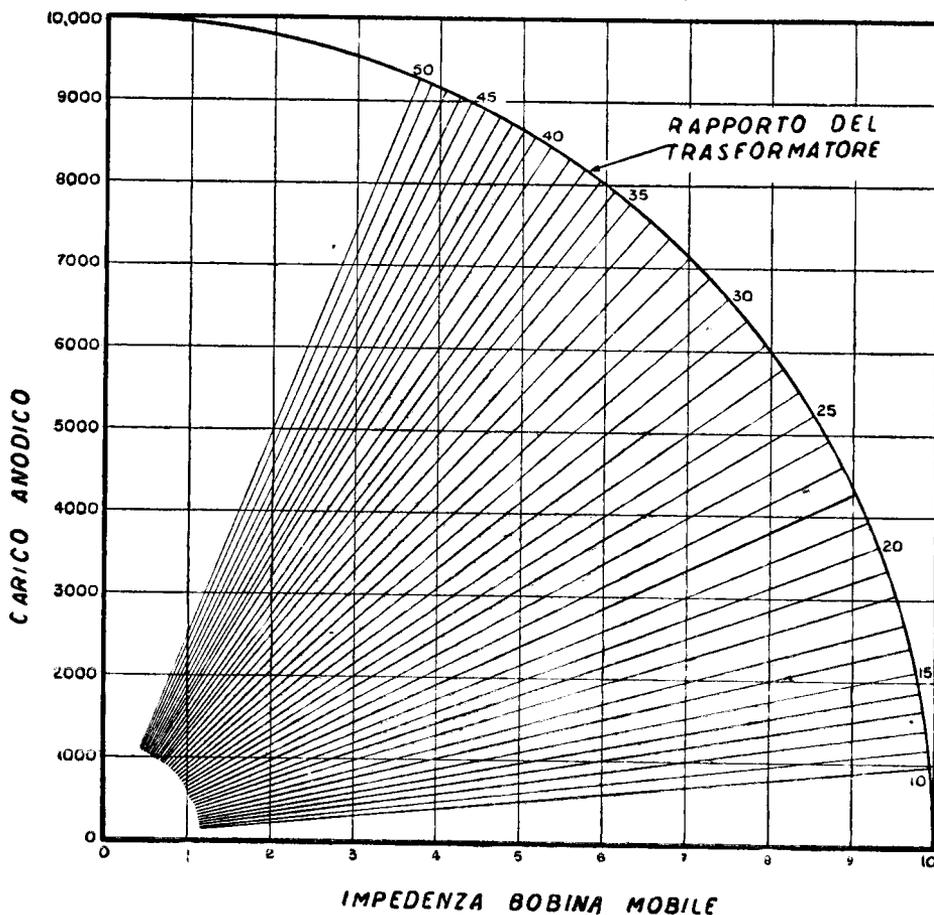


Fig. 4.2. - Nomogramma per la determinazione del rapporto del trasformatore di uscita. (Vedi testo).

mero di spire alle varie prese di un trasformatore d'uscita destinato ad accoppiare più altoparlanti allo stesso amplificatore.

Qualora non sia noto il rapporto del trasformatore d'uscita a disposizione, lo si può conoscere applicando al primario una tensione alternativa e misurando quella che si determina ai capi del secondario. La misura può venir fatta con un voltmetro con elemento rettificatore; poichè il numero delle spire di ciascun avvolgimento è proporzionale alla tensione ai suoi capi, è facile conoscere il rapporto spire essendo quello stesso del rapporto tensioni, con buona approssimazione.

Esempi di trasformazione d'uscita.

ESEMPIO A. — Un altoparlante con bobina mobile a 7 ohm d'impedenza deve venir collegato ad un amplificatore da 10 watt, con valvola finale EL34, funzionante con 250 V di placca e 270 V di schermo. A tali condizioni di funzionamento, il carico esterno della EL34 deve essere di 2500 ohm.

Il rapporto impedenza del trasformatore d'uscita è di $2500 : 7 = 357$. Il rapporto spire è di $\sqrt{357} = 18,9$; il rapporto del trasformatore è dunque di 18,9 a 1.

Il primario del trasformatore dovrà essere di 2500 spire, filo smaltato da 0,22 mm; la sezione del nucleo di ferro dovrà essere di 10 cm^2 , il traferro di 0,2 mm.

Il secondario del trasformatore dovrà essere di 132 spire, filo rame smaltato da 1 mm. L'efficienza del trasformatore sarà compresa tra il 75 e l'80 %.

ESEMPIO B. — La valvola triodo-pentodo ECL80 richiede uno dei carichi anodici più alti, quello di 11 000 ohm. Il triodo funziona da amplificatore di tensione ad audio-frequenza, ed il pentodo da finale di potenza. La potenza d'uscita è di appena 1 watt, essendo la valvola adatta per apparecchi di televisione, parte audio. Il rapporto im-

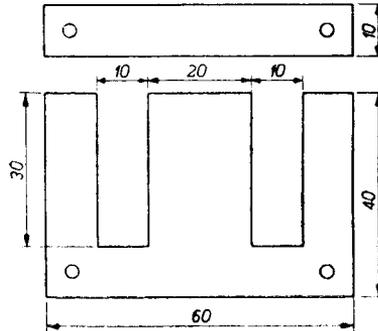


Fig. 4.3.

pedenza è di $11\ 000 : 5 = 2200$, supponendo che la bobina mobile dell'altoparlante sia di 5 ohm.

Il rapporto spire risulta da $\sqrt{2200} = 47$, dunque è di 47 a 1. L'impedenza di 11 000 ohm si ottiene con 3500 spire, utilizzando filo da 0,12 mm, rame smaltato, avvolto su nucleo di ferro di 20 mm di spessore, come indica la fig. 4.3. Le spire secondarie sono perciò $3500 : 47 = 74$ circa, filo 0,6 rame smaltato.

Il nucleo è costituito da un pacchetto di lamierini sagomati da 0,5 mm ciascuno. Il traferro è costituito da un foglio di carta dello spessore di 30 micron.

Esempi pratici.

CALCOLO DELLA POTENZA D'USCITA. — La potenza d'uscita dell'amplificatore è data dalla tensione d'uscita al quadrato divisa per il carico, oppure dalla corrente d'uscita moltiplicata per il carico. Se l'impedenza della bobina mobile (il carico)

è di 20 ohm, e se la tensione ai suoi capi è di 24,5 volt, ed è percorsa da corrente di 1,22 ampere, la potenza dell'amplificatore a cui essa è collegata è data da:

$$P = E^2/R \quad E = 24,5 \quad R = 20 \quad P = 600 : 20 = 30 \text{ watt}$$

$$P = I^2 \times R \quad I = 1,22 \quad R = 20 \quad P = 1,49 \times 20 = 30 \text{ watt}$$

IMPEDENZA DEL SECONDARIO. — È data dalla tensione d'uscita al quadrato divisa per la potenza d'uscita, oppure dalla potenza d'uscita divisa per la corrente al quadrato. Se la potenza è di 30 watt, la tensione d'uscita di 122,5 volt e la corrente di 0,245 ampere, l'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita è di:

$$Z_s = E^2/P \quad E = 122,5 \quad P = 30 \quad Z_s = 15\,000 : 30 = 500 \text{ ohm}$$

$$Z_s = P/I^2 \quad I = 0,245 \quad P = 30 \quad Z_s = 30 : 0,06 = 500 \text{ ohm}$$

SPIRE AVVOLGIMENTO PRIMARIO. — Risulta dal rapporto del trasformatore. Se il secondario è costituito da 50 spire e se il trasformatore è adatto per valvola 6AQ5, qualora la bobina mobile dell'altoparlante sia di 3,5 ohm, risulta:

$$\text{Rapporto impedenze} = 5000 : 3,5 = 1427$$

$$\text{Rapporto trasformatore} = \sqrt{1427} = 37,5 \text{ a } 1$$

5000 è la resistenza di carico richiesta dalla 6AQ5. Visto che le spire del secondario sono 50, quelle del primario sono $50 \times 37,5 = 1875$ spire.

IMPEDENZA DEL PRIMARIO. — Elevare al quadrato il rapporto del trasformatore e moltiplicare il risultato per l'impedenza secondaria. Se il rapporto del trasformatore è di 20 a 1, l'impedenza secondaria è di 6 ohm, quale è l'impedenza primaria?

$$\frac{\text{Impedenza primaria}}{\text{Impedenza secondaria}} = \text{Rapporto del trasformatore al quadrato} = 20^2 = 400$$

$$\text{Impedenza primaria} = 6 \times 400 = 2400 \text{ ohm.}$$

TENSIONI AI CAPI DELLA BOBINA MOBILE. — È data da $E = \sqrt{P \times R}$. Se l'amplificatore è da 15 watt e la bobina mobile è da 10 ohm, la tensione ai suoi capi, in corrispondenza della potenza massima, è di

$$E = \sqrt{P \times R} = \sqrt{10 \times 15} = 12,25 \text{ volt.}$$

S'intende che non vi sono altri altoparlanti collegati allo stesso amplificatore, diversamente occorre tener conto della potenza assorbita dalla bobina mobile che interessa.

TRASFORMATORI D'USCITA IN SERIE. — Come si comportano due trasformatori d'uscita collegati in serie, i due primari in serie nel circuito anodico ed i due secondari in serie collegati ai capi della bobina mobile? — Il rapporto impedenze non varia, quindi non varia neppure il rapporto di trasformazione, varia il valore dell'impedenza primaria complessiva, e quello dell'impedenza secondaria. Due trasfor-

matori d'uscita con impedenza primaria di 3500 ohm, posti in serie, si comportano come uno solo con impedenza primaria di 7000 ohm.

Potenza trasferita all'altoparlante.

È possibile calcolare quale parte della potenza totale disponibile all'uscita dell'amplificatore venga effettivamente trasferita all'altoparlante. A tale scopo occorre conoscere la *resistenza riflessa del secondario* e la *resistenza riflessa della bobina mobile*. La resistenza riflessa del secondario è data dal valore ohmico di tale resistenza moltiplicato per il rapporto di trasformazione al quadrato; lo stesso per la resistenza riflessa della bobina mobile.

La formula per determinare la potenza trasferita all'altoparlante è la seguente:

$$\text{Potenza trasferita all'altoparlante} = \text{Potenza dell'amplificatore} \times \frac{R_{rbm}}{R_p + R_{re} + R_{rbm}}$$

in cui R_{rbm} è la resistenza riflessa della bobina mobile, R_{re} quella riflessa del secondario e R_p la resistenza del primario.

Se, ad esempio, la potenza dell'amplificatore è di 6 watt, l'impedenza della bobina mobile di 3,5 ohm, la resistenza c. c. del primario di 300 ohm e quella del secondario di 1 ohm, ed il rapporto di trasformazione è 24, risulta:

$$\text{Resistenza riflessa del secondario} = \text{Rapporto trasform.}^2 \times \text{Resist. secondario}$$

$$24^2 \times 1 = 576 \text{ ohm}$$

$$\text{Resist. riflessa della bob. mobile} = \text{Rapporto trasform.}^2 \times \text{Impedenza bobina mobile}$$

$$24^2 \times 3,5 = 576 \times 3,5 = 2016 \text{ ohm}$$

per cui:

$$\text{Potenza trasferita all'altoparlante} = 6 \times \frac{2016}{300 + 576 + 2016} = 6 \times 0,696 = 4,17 \text{ watt.}$$

L'efficienza del trasferimento di potenza risulta essere:

$$\frac{\text{Potenza trasferita all'altoparlante}}{\text{Potenza dell'amplificatore}} = \frac{4,17}{6} = 0,696 = 69,6 \%$$

Fattori determinanti la qualità del trasformatore d'uscita.

Il trasformatore d'uscita è la parte componente più importante dell'amplificatore, poichè è il trasformatore d'uscita che trasferisce l'audiofrequenza all'altoparlante, e solo se tale trasferimento avviene in modo perfetto, l'altoparlante può riprodurre i suoni corrispondenti. Non è necessario un trasformatore d'uscita di alta qualità, e quindi di alto costo, quando l'amplificatore e l'altoparlante sono di qualità mediocre, ma non è neppure possibile usare un trasformatore d'uscita di qualità mediocre quando l'amplificatore e l'altoparlante sono di alta classe.

I fattori che determinano la qualità di un trasformatore d'uscita sono i seguenti:

A) *Autoinduttanza dell'avvolgimento primario.* Solo se è sufficientemente elevata, il trasformatore può trasferire le frequenze più basse, diversamente tali frequenze vengono eliminate.

B) *Capacitanza distribuita del primario.* La capacità tra le spire del primario deve essere bassa, poichè si trova in parallelo con l'induttanza del primario, e forma con esso un circuito accordato, la cui frequenza non deve cadere entro la gamma delle audiofrequenze.

C) *Efficienza.* Il rendimento del trasformatore non deve essere troppo basso, diversamente solo una parte modesta della potenza dell'amplificatore viene trasferita all'altoparlante. L'efficienza è normale per i trasformatori d'uscita di piccola potenza quindi è compresa tra il 75 e l'80 %.

D) *Capacitanza tra gli avvolgimenti.* Deve essere quanto minore è possibile, dividendo gli avvolgimenti e scegliendo l'adatta posizione tra di loro, oppure impiegando schermi tra di essi.

2. — IL COLLEGAMENTO DI PIU' ALTOPARLANTI

Linea d'altoparlanti e trasformatore d'entrata.

Gli amplificatori posti vicino al proprio altoparlante, come ad es. negli apparecchi radio, nei radiofonografi, nei piccoli impianti sonori portatili, ecc. sono provvisti di trasformatore d'uscita con secondario ad impedenza eguale a quella della bobina mobile dell'altoparlante. Quando, invece, gli altoparlanti sono numerosi, posti lontano dall'amplificatore, l'impedenza di carico varia, a seconda del numero e della potenza degli altoparlanti; in tal caso il trasformatore d'uscita è provvisto di un certo numero di prese, ossia è ad impedenza adattabile a quella del carico di altoparlanti.

A loro volta, gli altoparlanti sono provvisti di un proprio *trasformatore d'entrata*, (detto anche *traslatore*) ciò allo scopo di evitare perdite di potenza e di frequenza lungo i conduttori che li collegano all'amplificatore, ossia lungo la linea, detta *linea di altoparlanti*, oppure, con lo stesso significato, *linea portante* o *linea fonica* o *linea d'utilizzazione* o *linea d'impianto elettrosonoro*. È in uso anche il termine *linea a media impedenza*.

IL TRASFORMATORE D'ENTRATA. — Il trasformatore d'entrata è fissato direttamente su ciascuno degli altoparlanti destinati a funzionare lontano dall'amplificatore. L'impedenza del suo avvolgimento primario è più grande di quella della bobina mobile dell'altoparlante, e più piccola di quella di carico della valvola, ossia più piccola dell'impedenza primaria del trasformatore d'uscita. Ha un valore medio tra le due impedenze, quella di carico della valvola e quella della bobina mobile, per cui vien detta *media impedenza*; perciò il trasformatore d'entrata viene anche detto *trasformatore a media impedenza*.

L'impedenza del primario del trasformatore d'entrata non è sempre la stessa,

ma varia a seconda della potenza dell'altoparlante ed a seconda dell'impianto. Gli altoparlanti di piccola potenza hanno il trasformatore d'entrata con primario a 500 ohm, con presa intermedia a 250 ohm; quelli di media potenza hanno il trasformatore con primario a 125 ohm, 75 ohm e 50 ohm; quelli di grande potenza hanno il primario a 50, 40, 30, 20 e 10 ohm.

Ciò consente di collegare alla stessa linea, altoparlanti di diversa potenza. Se, ad es., all'uscita dell'amplificatore viene collegato un altoparlante da 3 watt, con trasformatore a impedenza primaria di 500 ohm, insieme con altoparlante da 30 watt, con trasformatore a impedenza primaria di 50 ohm, il piccolo assorbirà solo la decima

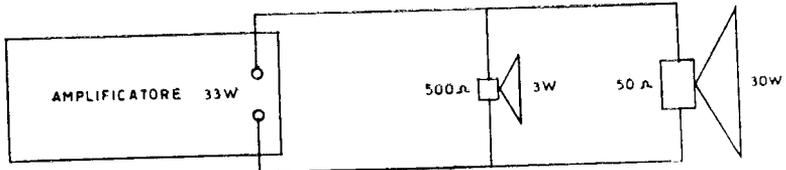


Fig. 4.4.

parte della potenza assorbita dal grande, data la diversa impedenza. I due altoparlanti saranno collegati in parallelo. L'intensità della corrente che percorrerà i due avvolgimenti primari sarà inversamente proporzionale alla impedenza di ciascuno di essi.

Se le impedenze primarie fossero state eguali, per es, ambedue di 500 ohm, la corrente si sarebbe divisa per metà ed i due altoparlanti sarebbero entrati in funzione con la stessa potenza, eccessiva per l'altoparlante piccolo e insufficiente per l'altoparlante grande.

ALTOPARLANTI IN PARALLELO. — L'impedenza complessiva di due o più altoparlanti collegati in parallelo, tutti con la stessa impedenza primaria, è data da tale impedenza divisa per il numero degli altoparlanti. Se, ad es., dieci altoparlanti con

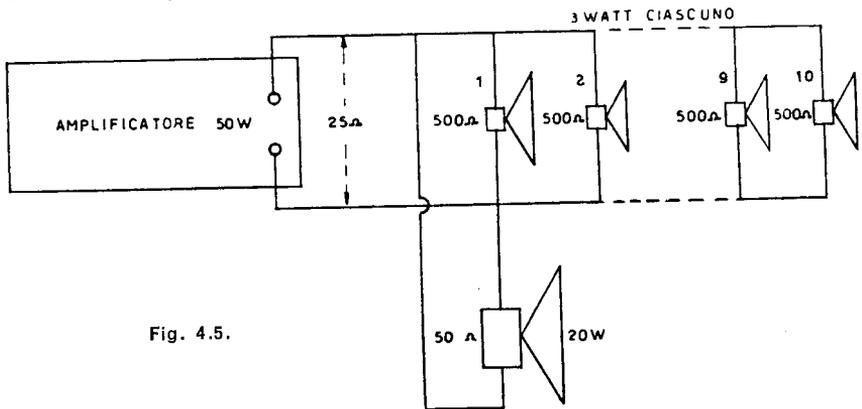


Fig. 4.5.

impedenza primaria di 500 ohm vengono collegati in parallelo, l'impedenza complessiva è di 50 ohm. In tal caso si suol dire che l'impedenza della linea è di 50 ohm.

I due conduttori della linea vanno collegati uno al morsetto comune, e l'altro alla presa a 50 ohm del trasformatore d'uscita dell'amplificatore. Se la potenza dell'amplificatore è di 30 watt, ciascun altoparlante ne riceverà la decima parte, ossia 3 watt, o poco meno, date le perdite.

Se la potenza dell'amplificatore è di 50 watt, e se ai 10 altoparlanti di cui sopra viene aggiunto in parallelo un altoparlante di grande potenza, da 20 watt, con impedenza primaria di 50 ohm, tutti gli altoparlanti saranno alimentati alla potenza richiesta da ciascuno di essi. L'impedenza della linea scenderà a 25 ohm, ed i due conduttori dovranno essere collegati al comune e alla presa a 25 ohm del secondario del trasformatore d'uscita.

COLLEGAMENTO IN PARALLELO DI IMPEDENZE DI VALORE DIVERSO. — L'impedenza complessiva di DUE IMPEDENZE DI VALORE DIVERSO in parallelo, Z_1 e Z_2 , ad es. 500 ohm e 125 ohm, è data dalla formula:

$$\frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{500 \times 125}{500 + 125} = \frac{62.500}{625} = 100 \text{ ohm.}$$

L'impedenza complessiva di TRE IMPEDENZE DI VALORE DIVERSO in parallelo, Z_1 , Z_2 e Z_3 , ad es. 500, 125 e 50 ohm, è data dalla formula:

$$1 : \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_1} \right) = 1 : \left(\frac{1}{500} + \frac{1}{125} + \frac{1}{50} \right) = 1 : 0,03 = 33,3 \text{ ohm.}$$

Lo stesso per quattro o più impedenze di valore diverso in parallelo.

COLLEGAMENTO IN SERIE-PARALLELO. — L'impedenza complessiva risulta dalla somma delle resistenze in serie, considerate come un'unica resistenza in parallelo alle altre. La fig. 4.6 indica tre altoparlanti da 4 watt ciascuno, con trasforma-

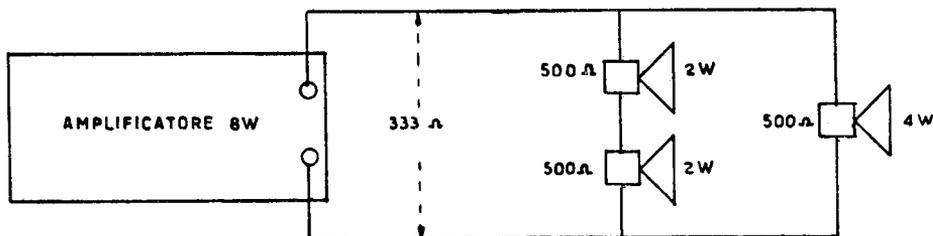


Fig. 4.6.

toro d'entrata di 500 ohm, collegati due in serie ed uno in parallelo. L'impedenza della linea risulta di 333 ohm. La potenza di 8 watt dell'amplificatore risulta divisa a metà tra i due altoparlanti in serie e quello in parallelo, per cui quelli in serie funzioneranno con la potenza di 2 watt ciascuno, e quello in parallelo con la potenza di 4 watt. La diversità della potenza sarebbe stata ancora maggiore se l'impedenza

del secondario del trasformatore d'entrata dell'altoparlante in parallelo fosse stata minore, per es. 125 ohm. In tal caso i due altoparlanti in serie avrebbero ricevuto

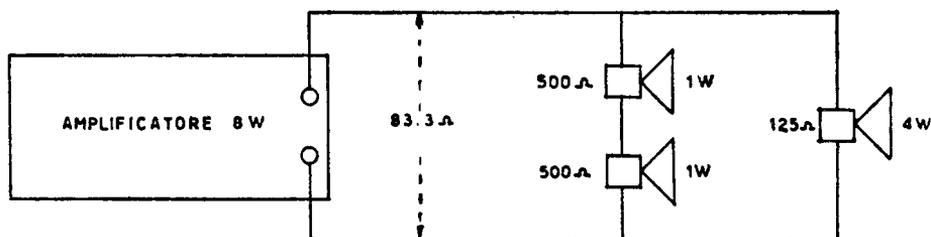


Fig. 4.7.

solo 1 watt di potenza ciascuno, mentre 4 watt sarebbero andati all'altoparlante in parallelo, come in fig. 4.7.

RIPARTIZIONE DELLA POTENZA TRA ALTOPARLANTI IN PARALLELO. — La potenza assorbita da ciascun altoparlante in parallelo è inversamente proporzionale all'impedenza del primario del suo trasformatore d'entrata. Se la disposizione degli altoparlanti è tale che all'impedenza primaria di 500 ohm corrisponda l'assorbimento di 1 watt, risulta:

Potenza assorbita dall'altoparlante = 500 : impedenza primaria.

Ad es., se l'impedenza di uno qualsiasi degli altoparlanti disposti in parallelo è di 50 ohm, la potenza che esso assorbe è di $500 : 50 = 10$ watt; se è di 75 ohm, la potenza è di 6,6 watt; se è di 100 ohm, la potenza è di 5 watt, ecc.

Qualora invece all'impedenza primaria di 500 ohm corrisponda la potenza assorbita di 0,5 watt, la potenza assorbita è data da 250 diviso per l'altro valore dell'impedenza primaria, ad es. se è di 50 ohm, risulta di $250 : 50 = 5$ watt.

AUTOTRASFORMATORE D'ENTRATA. — Gli altoparlanti di grande potenza sono generalmente provvisti di autotrasformatore d'entrata al posto del trasformatore d'entrata. La corrente che percorre la parte in comune è data dalla somma algebrica delle due correnti, primaria e secondaria, e poichè sono di senso opposto, l'intensità della corrente in tale parte comune risulta piccola, ciò che permette di utilizzare filo più sottile, meno costoso e meno ingombrante.

DIAMETRO DI CIASCUNO DEI DUE CONDUTTORI DI LINEA.

a) per linee corte, sino a 50 metri di lunghezza: diametro 0,5 mm per carichi sino a 30 ohm, 0,4 per carichi superiori;

b) per linee medie, sino a 100 metri di lunghezza: diametro 0,85 mm per carichi sino 30 ohm, diametro 0,6 per carichi sino a 70 ohm, diametro 0,5 per carichi superiori;

c) per linee medie, sino a 200 metri di lunghezza: diametro 1,2 mm per carichi sino a 30 ohm, diametro 0,8 mm per carichi sino a 70 ohm, diametro 0,6 per carichi maggiori;

d) per linee lunghe sino a 500 metri: diametro 2,5 mm per carichi sino a 15 ohm, diametro 2 mm per carico sino a 30 ohm, diametro 1,5 mm per carico sino a 60 ohm, diametro 1,2 mm per carico sino a 100 ohm, e diametro 1 mm per carichi superiori.

RESISTENZA CONDUTTORI DI RAME NUDO:

Diametro in mm	Resistenza 100 m in Ω	Peso di 1000 m in kg	Lunghezza di 1 kg in metri
0,4	13,92	1,10	892,9
0,5	8,91	1,75	571,4
0,6	6,18	2,52	396,8
0,7	4,54	3,43	291,5
0,8	3,48	4,48	254,0
1	2,22	7,00	142,8
1,5	0,99	15,75	63,4
2	0,55	28,00	35,7
2,5	0,35	43,75	28,8

Valori di tensione e di corrente all'uscita dell'amplificatore.

Si supponga che la potenza dell'amplificatore sia di 30 watt, e che le prese al secondario del trasformatore d'uscita siano a 20 ed a 125 ohm. Quali sono i massimi valori di tensione e di corrente a ciascuna delle due prese?

Occorre utilizzare le formule $E = \sqrt{P \times R}$ ed $I = \sqrt{P : R}$. Risulta che ad un singolo carico di 125 ohm, collegato alla presa corrispondente, alla potenza di 30 watt, la tensione è di:

$$E = \sqrt{P \times R} = \sqrt{30 \times 125} = \sqrt{3750} = 61,2 \text{ volt.}$$

La corrente che percorrerà il carico di 125 ohm, alla potenza di 30 watt, sarà di:

$$I = \sqrt{P : R} = \sqrt{30 : 125} = \sqrt{0,24} = 0,49 \text{ ampere.}$$

Procedendo nello stesso modo si trova che ad un singolo carico di 20 ohm, collegato alla presa corrispondente, alla potenza di 30 watt, la tensione è di 24,5 volt e la corrente di 1,22 ampere.

Linea di bobine mobili.

In tutti i vecchi impianti di amplificazione, ossia in quelli provvisti di altoparlanti elettrodinamici, gli altoparlanti non hanno il trasformatore d'entrata. Le prese sono fatte direttamente alle loro bobine mobili, per cui la linea portante è detta *linea di bobine mobili*.

Le bobine mobili sono collegate in serie, per evitare di rendere eccessivamente

bassa l'impedenza della linea, inferiore addirittura al valore ohmico dei suoi conduttori. È necessario che la resistenza della linea non superi il 15 % dell'impedenza totale, poichè solo in tal modo la perdita di potenza lungo la linea stessa è limitata appunto al 15 %.

L'impedenza delle bobine mobili degli altoparlanti elettrodomestici è generalmente bassa, compresa fra 2 e 2,5 ohm.

Il collegamento in serie delle bobine mobili di tutti gli altoparlanti è possibile soltanto quando la potenza è egualmente distribuita a ciascuno di essi, ossia quando

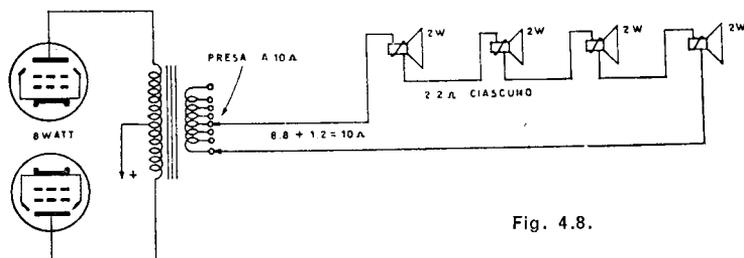


Fig. 4.8.

sono tutti della stessa potenza. Se, ad es., l'amplificatore è di 8 watt e vi sono 4 altoparlanti da 2 watt ciascuno, evidentemente possono venir collegati tutti in serie; se l'impedenza della b. m. è di 2,2 ohm, l'impedenza della linea risulterà di $2,2 \times 4 = 8,8$ ohm più 1,2 ohm per i conduttori, ossia 10 ohm. Andrà collegata alla presa a 10 ohm del trasformatore d'uscita.

Quando vi sono altoparlanti di varia potenza è necessario il collegamento in

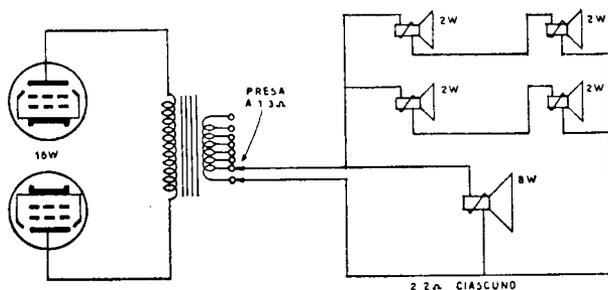


Fig. 4.9.

serie-parallelo, dato che in tal modo si ottiene la distribuzione della potenza stessa. L'altoparlante, o gli altoparlanti di maggior potenza vanno collegati in parallelo agli altoparlanti di piccola potenza collegati in serie.

La fig. 4.9 illustra un esempio di amplificatore da 16 watt, con quattro altoparlanti da 2 watt ed uno da 8 watt. Le bobine mobili sono da 2,2 ohm. Affinchè la potenza di 16 watt si divida in due parti, come necessario, ed 8 watt vadano ai quattro altoparlanti piccoli e altrettanti all'altoparlante grande, è necessario disporre i quattro

altoparlanti piccoli in modo che l'impedenza complessiva delle loro bobine mobili sia eguale a quella dell'altoparlante grande. Ciò si ottiene collegandoli a due a due in serie, e quindi le due coppie in parallelo.

L'inconveniente di una simile disposizione consiste nel valore troppo basso dell'impedenza di linea, la quale è di 1,1 ohm più la resistenza dei conduttori. Nell'esempio precedente si è supposto che tale resistenza sia di 1,2 ohm, ma se anche in questo caso essa fosse di 1,2 ohm, oltre metà della potenza dell'amplificatore, ossia circa 8,5 watt andrebbero perduti nella linea, e solo 7,5 watt verrebbero distribuiti ai 5 altoparlanti. Per ridurre la resistenza di linea è necessario adoperare conduttori molto grossi, di 2 mm di diametro sino a 200 m e di 2,5 mm per lunghezze maggiori, in tal modo la resistenza della linea può venir ridotta per es. a 0,2 ohm, quindi l'impedenza totale può essere di 1,3 ohm.

Se nell'esempio fatto l'amplificatore fosse stato da 24 watt, e oltre ai quattro altoparlanti piccoli avesse dovuto alimentarne due grandi, da 8 watt ciascuno, non sarebbe stato opportuno collegare il secondo altoparlante grande in parallelo al primo, poichè l'impedenza della linea sarebbe risultata di 0,75 ohm, quindi la perdita lungo i fili conduttori sarebbe risultata poco meno della terza parte della potenza totale, circa 7 watt. Sarebbe stato necessario collegare i quattro altoparlanti piccoli in serie, ed in parallelo ad essi i due altoparlanti grandi pure in serie.

Quando si tratta di impianti complessi, con altoparlanti di varia potenza, senza trasformatore d'entrata, come negli esempi fatti, è spesso opportuno usare due o tre amplificatori di piccola potenza, ciascuno alimentante un gruppo di altoparlanti. Diversamente la distribuzione della potenza può risultare difficile o impossibile.

Linea complessa di altoparlanti.

La ripartizione della potenza tra altoparlanti collegati ad una stessa linea non è sempre facile, e spesso si risolve soltanto con compromessi. Si supponga, ad es., di dover alimentare quattro altoparlanti, due da 3 watt, uno da 15 watt ed uno da 30 watt, collegati alla stessa linea. La potenza complessiva è di 51 watt. È necessario provvedere a ripartire la potenza di 37 watt tra i quattro altoparlanti. Può avvenire che convenga inviare un solo watt a ciascuno dei due altoparlanti piccoli, 10 watt a quello medio a 25 watt al grande.

In questo caso la disposizione risulta quella di fig. 4.10. I due altoparlanti piccoli sono collegati in serie; l'impedenza primaria dei loro trasformatori d'entrata è di 125 ohm. Dell'altoparlante medio è utilizzata la presa a 50 ohm del secondario, e del grande quella a 20 ohm. La ripartizione della potenza risulta quella richiesta, poichè l'impedenza di 250 ohm dei due altoparlanti in serie, è 5 volte maggiore di 50 ohm, e 12,5 volte maggiore di quella di 20 ohm. Se i due altoparlanti piccoli assorbono complessivamente 2 watt, l'altoparlante medio assorbe $2 \times 5 = 10$ watt, ed il grande $2 \times 12,5 = 25$ watt.

L'impedenza della linea risulta dalla solita formula, ed è di $1 : 0,074 = 13,5$

ohm più 1,5 ohm per i conduttori, in totale 15 ohm. Gli altoparlanti vanno collegati alla presa a 15 ohm del secondario del trasformatore d'uscita, oppure a 14 o a 16 ohm, se quella di 15 ohm manca. Il collegamento della linea a 15 ohm alla presa di 15 ohm porta alcuni svantaggi, diversi da quelli che comporta il collegamento alla presa a 16 ohm.

Collegando la linea a 15 ohm alla presa a 16 ohm dell'amplificatore si ottiene che il carico riflesso placca-placca, come si suol dire, è più basso così che è possibile ottenere una potenza leggermente maggiore dall'amplificatore, ma anche una maggiore distorsione, specie nelle punte di potenza. Se, invece, si collega la linea a 15 ohm alla presa a 14 ohm dell'amplificatore, viene riflesso un carico placca-placca

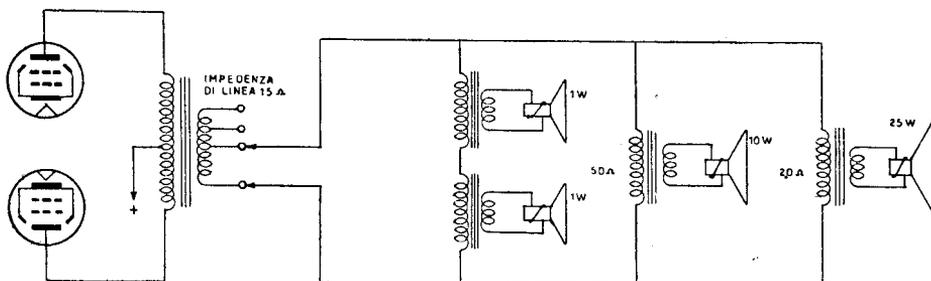


Fig. 4.10.

più alto, ciò che determina il sovraccarico dell'amplificatore ad un'uscita più bassa della normale. In via generale, se si tratta di amplificatori a triodi finali, può essere utile collegare la linea a presa minore, mentre se si tratta di amplificatori con valvole finali costituite da tetrodi a fascio o da pentodi può risultare più utile il collegamento alla presa maggiore.

Va inoltre tenuto presente che la linea può venir collegata ad una presa più alta sino ad un massimo del 70 %, oppure ad una più bassa sino ad un massimo del 30 %, dato che collegando a presa più bassa lo squilibrio risulta più accentuato; di massima è bene evitare, ove sia possibile, il collegamento a presa più bassa. Se, ad es. l'impedenza della linea fosse di 10 ohm, e fossero disponibili due prese del trasformatore d'uscita dell'amplificatore, una 9 ohm e l'altra a 11,5 ohm, risulterebbe opportuno collegarla alla presa a 11,5 ohm, anzichè a quella di 9 ohm, pur essendo quest'ultima più vicina al valore richiesto.

CALCOLO DELL'IMPEDENZA PRIMARIA DEI TRASFORMATORI D'ENTRATA. — Per calcolare l'impedenza che deve avere il primario di ciascuno dei trasformatore di entrata di una linea di altoparlanti, occorre anzitutto stabilire il rapporto di potenza tra gli altoparlanti stessi. Se, ad esempio, la potenza dell'amplificatore è di 30 watt, e se gli altoparlanti sono tre, uno da 5 watt, uno da 10 watt ed uno da 15 watt, i rapporti di potenza sono: 1, 2 e 3.

Si supponga che l'impedenza delle tre bobine mobili sia rispettivamente di 3

ohm, 6 ohm e 10 ohm, e che l'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita sia di 150 ohm.

L'impedenza del primario del trasformatore d'entrata dell'altoparlante da 5 watt, è data da:

Impedenza primaria trasformatore d'entrata = Impedenza secondaria trasformatore d'uscita \times (Potenza amplificatore : Potenza altoparlante), ossia è di

$$150 \times (30 : 5) = 900 \text{ ohm.}$$

L'impedenza primaria degli altri due trasformatore si ottiene semplicemente dividendo quella trovata (per il più piccolo degli altoparlanti) per il rapporto di potenza. Perciò l'impedenza primaria del trasformatore dell'altoparlante da 10 watt sarà di $900 : 2 = 450$ ohm, mentre quella del trasformatore dell'altoparlante da 15 watt sarà di $900 : 3 = 300$ ohm.

Calcolando il valore delle tre impedenze primarie in parallelo si deve trovare il valore dell'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita, di 150 ohm. Infatti:

$$\begin{aligned} Z &= 1 : \left(\frac{1}{900} + \frac{1}{450} + \frac{1}{300} \right) = 1 : (0,00111 + 0,00222 + 0,00333) = \\ &= 1 : 0,00666 = 150 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

Impianti con più amplificatori.

Quando si tratta di impianti d'amplificazione molto complessi, o di potenza notevole, possono venir utilizzati più amplificatori, la cui potenza viene sommata. Gli amplificatori vengono collegati con le entrate in parallelo e con le uscite in serie; generalmente però si preferisce collegare le entrate in parallelo lasciando separate le uscite, alle quali vengono collegate linee separate di altoparlanti, a seconda della potenza di ciascun amplificatore, ciò per evitare che la linea comune abbia impedenza troppo bassa.

Linea ad impedenza costante.

CARATTERISTICHE GENERALI. — I comuni impianti di diffusione sonora sono provvisti di linee cosiddette a media impedenza, ma che in realtà possono anche essere a bassa ed a bassissima impedenza a seconda del carico degli altoparlanti. Gli inconvenienti di queste linee sono già stati indicati; esse non consentono la ripartizione della potenza ad audiofrequenza tra i vari altoparlanti, salvo casi molto semplici e fortunati; la loro impedenza varia molto, e quando è bassa determina notevoli perdite di potenza. Inoltre non è sempre possibile adattare l'impedenza della linea a quella del secondario del trasformatore d'uscita, per quanto esso sia provvisto di numerose prese, ciò che determina distorsione e sovraccarico.

Per queste ragioni, i moderni impianti d'amplificazione a media o ad alta mu-

sicalità sono provvisti di *linea ad impedenza costante*. Mentre negli impianti comuni è il *trasformatore d'uscita* che viene adattato alla linea, per cui dispone di secondario

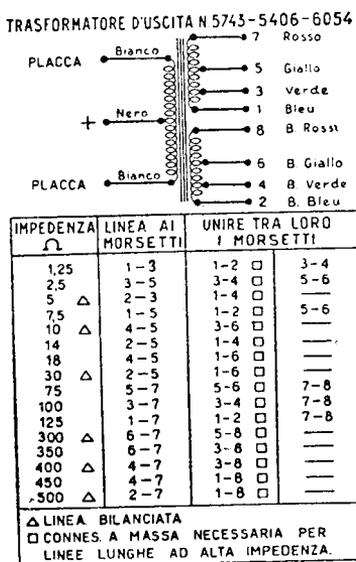


Fig. 4.11. - Utilizzando in vario modo le prese del trasformatore d'uscita è possibile disporre di un maggior numero di valori d'impedenza d'uscita.

a molte prese, negli impianti migliori è la linea che viene adattata al trasformatore d'uscita, il quale è provvisto di *secondario senza prese*. L'esperienza e la teoria hanno

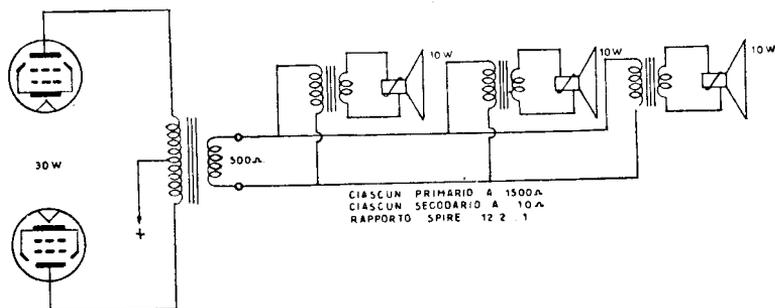


Fig. 4.12.

dimostrato che il valore migliore d'impedenza delle linee d'altoparlanti è di 500 ohm, per cui il trasformatore d'uscita ha il secondario a 500 ohm.

L'impedenza di queste linee è sempre di 500 ohm, qualunque sia il numero degli altoparlanti collegati e la loro potenza. Ne risulta che l'impedenza primaria dei

trasformatori d'entrata degli altoparlanti varia notevolmente, e deve essere calcolata all'atto dell'installazione. Questo è il grave inconveniente degli impianti a linea a impedenza costante, per cui sono riservati ai soli cinema di classe, ed in genere alle sole installazioni a media o ad alta musicalità.

Un semplice esempio di *linea ad impedenza costante di 500 ohm* è quello di fig. 4.12. Ad un amplificatore da 30 watt sono collegati tre altoparlanti da 10 watt

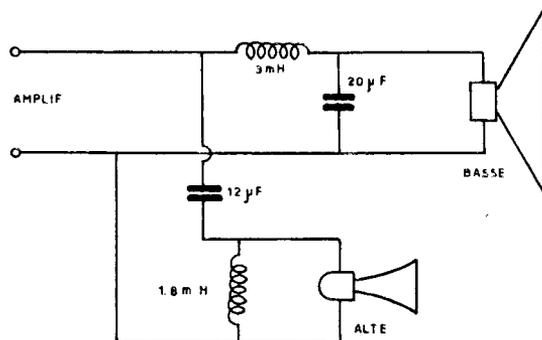


Fig. 4.13.

ciascuno, in parallelo. L'impedenza primaria di ciascuno dei tre trasformatori d'entrata è di 1500 ohm, visto che l'impedenza risultante è di 500 ohm, come richiesto dalla linea. Il trasformatore d'uscita ha il secondario a 500 ohm.

ADATTAMENTO ALTOPARLANTI DI POTENZA DIVERSA. — Può avvenire che i tre altoparlanti da collegare alla stessa linea d'uscita a 500 ohm siano di potenza diversa, ad es. uno da 15 watt, uno da 10 watt e uno da 5 watt, e che sia necessario calcolare l'impedenza primaria di ciascuno dei tre trasformatori d'entrata.

Va anzitutto calcolata la tensione ai capi della linea d'uscita in corrispondenza alla potenza massima, di 30 watt, dell'amplificatore. Poichè la linea è a 500 ohm, la tensione ai suoi capi è di 122,5 volt infatti:

$$E = \sqrt{W \times R} \quad W = 30 \quad R = 500 \quad E = \sqrt{15000} = 122,5 \text{ volt.}$$

Nello stesso modo va calcolata la tensione ai capi della bobina mobile dell'altoparlante da 15 watt. Si suppone, come nell'esempio fatto, che le tre bobine mobili siano da 10 ohm ciascuna. Poichè la potenza è di 15 watt e la resistenza di 10 ohm, la tensione è data dalla radice quadrata di $15 \times 10 = \sqrt{150}$, ossia è di 12,25 volt.

Ai capi della bobina mobile dell'altoparlante da 10 watt la tensione sarà di $\sqrt{100} = 10$ volt; ed ai capi di quella dell'altoparlante da 5 watt sarà di $\sqrt{50} = 7,07$ volt.

Il rapporto spire per ciascuno dei tre trasformatori sarà:

- a) altoparlante da 15 watt $122,5 : 12,25 = 10$ a 1
- b) altoparlante da 10 watt $122,5 : 10 = 12,2$ a 1
- c) altoparlante da 5 watt $122,5 : 7,07 = 17,5$ a 1

Il rapporto impedenze è dato dal rapporto spire elevato al quadrato. Il primario di ciascun trasformatore ha in questo caso un'impedenza diversa. Elevando al quadrato 10, 12,2 e 17,5 si ottiene 100, 148 e 306. Questi sono i tre rapporti impedenze. Poichè il secondario è di 10 ohm in tutti e tre i trasformatori, l'impedenza del primario sarà di 1000 ohm per l'altoparlante da 15 watt, di 1480 ohm per quello da 10 watt e di 3060 ohm per quello da 5 watt.

Collegate in parallelo, queste tre impedenze si comportano come una sola da 500 ohm, infatti:

$$\text{Impedenza totale} = 1 : \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) = 1 : \left(\frac{1}{1000} + \frac{1}{1480} + \frac{1}{3060} \right) = 500 \text{ ohm.}$$

In questo modo la potenza assorbita da ciascun altoparlante risulta quella richiesta.