



Scuola Radio Elettra
Torino Via Stellone 5



transistori

corso radio per corrispondenza

(36)

Il TRANSISTORE' è un componente che può sostituire il tubo elettronico come amplificatore nei vari circuiti radioelettrici.

Dal 1948, anno in cui fu costruito il primo transistor, si è avuto un rapido estendersi delle applicazioni dei transistori in ogni settore dell'elettronica: prima in apparecchi militari di tipo speciale; poi negli apparecchi scientifici per sonde atmosferiche, nei radiocomandi per missili, negli equipaggi strumentali per satelliti; infine negli apparecchi portatili di uso generale, cioè negli amplificatori per giradischi, nei radioricevitori, nei televisori, ecc.

Attualmente, ogni anno, nei vari paesi del mondo si fabbricano centinaia di milioni di transistori e decine di milioni di radioline a transistori. Queste ultime hanno ottenuto un largo successo popolare, soprattutto per il formato tascabile, per l'alimentazione indipendente dalla rete e per il prezzo moderato.

L'argomento dei transistori è dunque entrato a buon diritto nel Corso Radio Stereo, ma con esso si sono presentati anche alcuni problemi.

In primo luogo bisogna considerare che fra il transistor e il tubo elettronico (*fig. 1*) esistono alcune analogie, ma esistono anche molte diversità; non è quindi possibile ricondurre lo studio del transistor a quello del tubo elettronico, né lo studio dei circuiti a transistori a quello dei circuiti con tubi elettronici. Ora, se si volesse trattare l'argomento dei transistori in modo ugualmente approfondito come quello dei tubi elettronici, bisognerebbe aumentare notevolmente le lezioni del Corso, sia quelle teoriche, sia quelle pratiche e di servizio; ciò però non è possibile senza rendere troppo gravoso il programma di studio. D'altra parte non si può nemmeno ignorare o trattare troppo sommariamente l'argomento dei transistori in un moderno corso di radiotecnica. Così, per conciliare le opposte esigenze, sono state concepite dieci lezioni, interamente dedicate ai transistori, le quali seguiranno parallelamente le altre lezioni del Corso.

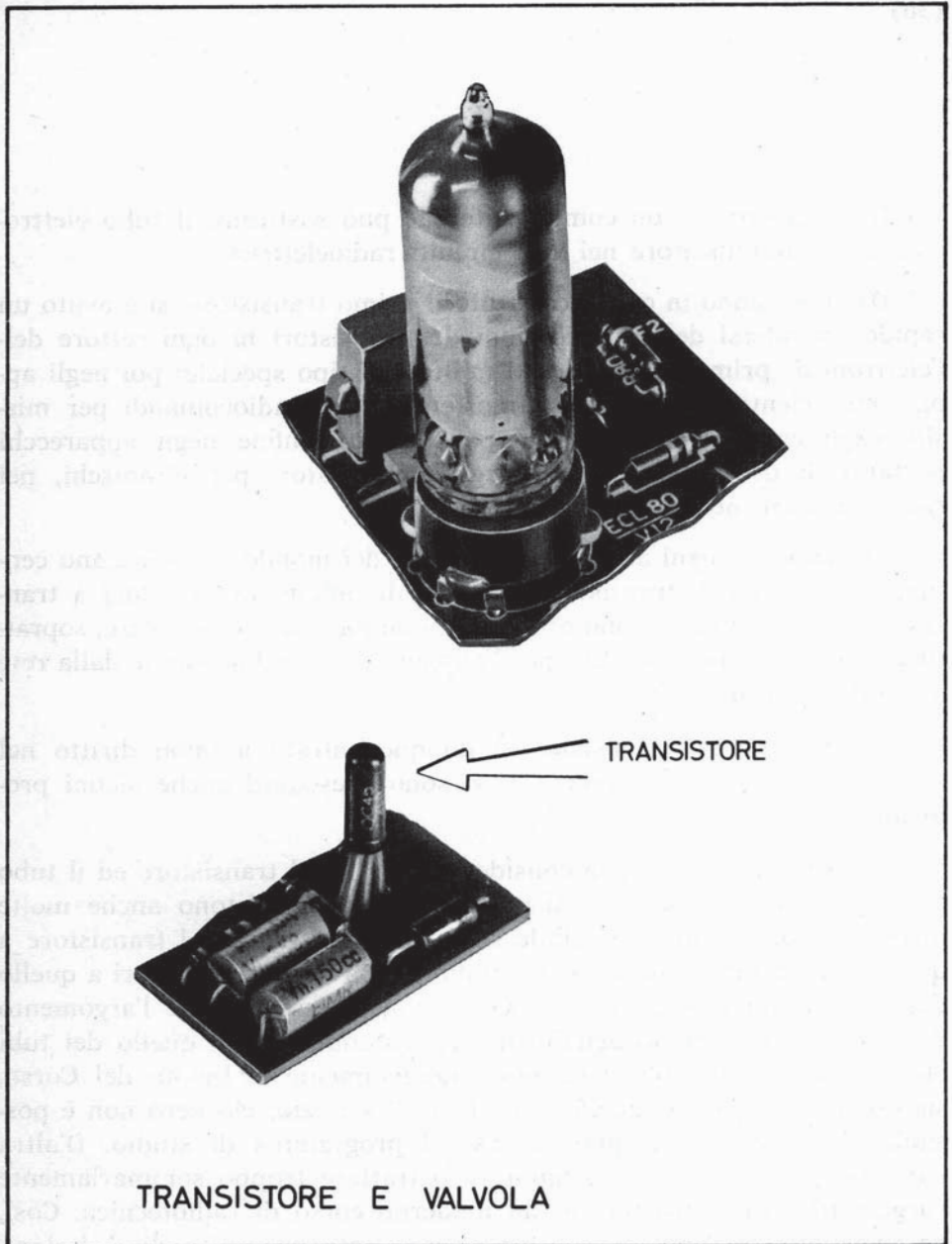


Fig. 1

In queste lezioni si illustrerà in modo organico la nuova tecnologia dei transistori; si esamineranno i principali circuiti e sarà presentata una serie di esperienze utili per fissare le nozioni fondamentali che ogni radiotecnico deve avere.

Però occorre precisare che *sull'argomento dei transistori in queste lezioni viene detto soltanto l'indispensabile; per completarne lo studio ad un livello tecnico approfondito converrà seguire il nuovo CORSO TRANSISTORI appositamente preparato dalla Scuola (riceverà con un prossimo gruppo l'opuscolo illustrativo di tale corso).*

Per comprendere il funzionamento dei transistori bisogna conoscere la struttura dei materiali usati; perciò ora, partendo dalle nozioni relative alla costituzione della materia già esposte nelle prime lezioni teoriche e di fisica, inizieremo lo studio con un rapido esame della struttura interna dei cristalli che sono alla base dei transistori.

1. - LEGAMI FRA GLI ATOMI

Tutte le esperienze di chimica mostrano che gli atomi si attraggono o si respingono l'un l'altro quando sono posti a breve distanza fra loro. E' bene precisare subito che, quando si tratta di distanze fra atomi, non conviene usare come unità di misura il metro, e nemmeno il millimetro: nell'ordine delle dimensioni atomiche si ricorre usualmente all'ANGSTRÖM (simbolo Å), che equivale a 1 *decimiliardesimo di metro*, oppure al MILLIMICRON (simbolo mμ), che equivale a 1 *miliardesimo di metro*.

L'attrazione che si manifesta fra gli atomi è nota con il nome di **ATTRAZIONE DI VAN DER WAALS**; essa in generale è relativamente debole e comincia ad esercitarsi quando gli atomi sono posti alla distanza di pochi angström (*fig. 2*); a distanze più brevi, quando le orbite esterne degli elettroni si toccano, può stabilirsi un legame più stretto, detto **LEGAME CHIMICO**, oppure può sorgere una forte **REPULSIONE**.

L'attrazione di Van der Waals è sostanzialmente un fenomeno di natura elettrostatica dovuto alla forza elettrica di attrazione (F della

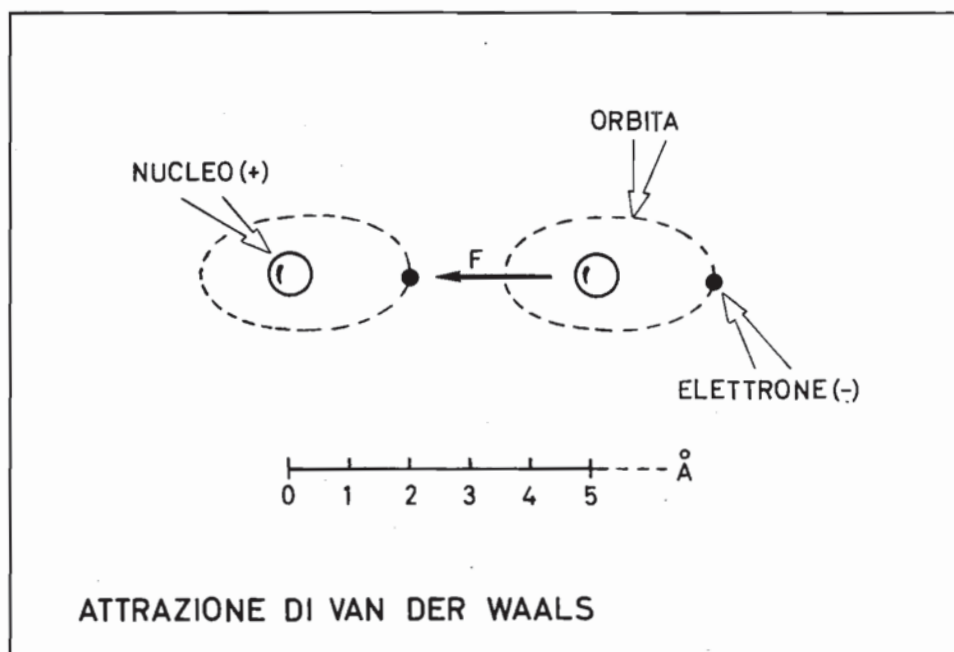


Fig. 2

fig. 2) che si esercita fra il nucleo, elettricamente positivo, e gli elettroni dell'atomo vicino, elettricamente negativi.

Il legame chimico e la repulsione sono invece dovuti alla costituzione dell'ultimo strato degli elettroni che ruotano attorno al nucleo, cioè lo strato esterno.

In genere gli strati interni degli elettroni rotanti sono stabili e non vengono interessati ai fenomeni chimici, né a quelli della conduzione elettrica; lo strato esterno può invece presentare una certa instabilità, in quanto può perdere od acquistare elettroni, oppure anche mettere in comune i propri elettroni con gli elettroni dello strato esterno di un altro atomo.

Per spiegare la formazione del legame chimico, in alcuni casi, e della repulsione, in altri casi, occorre far riferimento ad un principio fisico noto con il nome di PRINCIPIO DI ESCLUSIONE O PRINCIPIO DI PAULI.

In base a questo principio si afferma che *in ciascuna orbita elet-*

tronica posta attorno al nucleo di un atomo può trovare posto soltanto un elettrone avente una determinata energia.

Però, se si ammette che tutti gli elettroni siano esattamente uguali fra loro e si tiene presente che un elettrone in orbita attorno ad un nucleo a sua volta gira su sé stesso e può girare in un senso oppure nel senso opposto, allora si potrà modificare la precedente espressione del principio di Pauli nel seguente modo: *in un'orbita attorno ad un nucleo atomico non possono ruotare più di due elettroni; questi due elettroni, girando su sé stessi, dovranno però girare in sensi opposti* (principio di Pauli generalizzato).

Nelle spiegazioni che seguiranno si farà riferimento alla seconda versione del principio di Pauli.

Immaginiamo ora che due atomi di idrogeno si stiano avvicinando fra loro. Gli atomi dell'idrogeno si possono rappresentare come nella *fig. 2*, essendo costituiti dal nucleo e da un solo elettrone rotante nello strato K (*Teorica I^a, fig. 12*). Quando i nuclei dei due atomi vengono a trovarsi alla distanza di qualche angström (circa 5 \AA), comincia a manifestarsi l'attrazione di Van der Waals. Diminuendo la distanza l'attrazione elettrostatica aumenta; quando poi i due nuclei vengono a trovarsi alla distanza di $0,75 \text{ \AA}$ subentra il legame chimico che assicura l'accoppiamento stabile dei due atomi determinando la formazione della molecola d'idrogeno.

Il legame chimico non è costituito semplicemente da una forte attrazione elettrostatica fra i nuclei e gli elettroni; nel caso dell'idrogeno il legame è costituito da un ripetuto scambio di energia fra gli atomi vicini, scambio che si produce perché gli elettroni vengono a trovarsi ripetutamente ed indifferentemente nell'orbita dell'uno e dell'altro atomo. Può così accadere che durante il continuo passaggio di elettroni da un atomo all'altro in uno stesso atomo di idrogeno vengano a trovarsi due elettroni, anziché uno; ciò è da ritenersi possibile in base al principio di Pauli generalizzato per cui in ogni orbita possono trovare posto due elettroni.

Consideriamo ora un altro caso, ossia immaginiamo che due atomi di elio si stiano avvicinando fra loro.

Gli atomi dell'elio sono costituiti dal nucleo e da due elettroni rotanti nello strato K. Lo strato K, cioè lo strato elettronico più interno e

vicino al nucleo, è costituito da una sola orbita. Nel caso dell'elio quest'orbita è completa, poiché essa contiene due elettroni, ed in base al principio di Pauli generalizzato non potrà accoglierne altri.

Quando i nuclei dei due atomi di elio vengono a trovarsi alla distanza di qualche ångström si può manifestare l'attrazione di Van der Waals, come per l'idrogeno; ma a distanze più brevi, quando le orbite dei due atomi si toccano, in luogo del legame chimico, si ha sempre una forte repulsione.

La repulsione che si manifesta fra i due atomi di elio è dovuta alle interazioni dei loro elettroni rotanti: infatti, come si sa, gli elettroni hanno tutti la stessa carica elettrica negativa e perciò si respingono fra loro; d'altra parte non è possibile ottenere una ridistribuzione degli elettroni attorno ai due nuclei, come nel caso precedentemente considerato dell'idrogeno, perché in base al principio di Pauli generalizzato l'orbita elettronica di ciascun atomo di elio è da considerarsi completa.

Finora abbiamo considerato gli atomi più semplici, cioè quelli dell'idrogeno e dell'elio, che hanno un solo strato di elettroni rotanti, lo strato K. Quando gli atomi hanno due o più strati (*Teorica 1^a, fig. 12*), oltre al principio di Pauli occorre tener presente che *si ottiene la massima stabilità degli elettroni attorno al proprio atomo quando nello strato esterno vi sono otto elettroni, rotanti in quattro orbite.*

Gli elementi che hanno otto elettroni nello strato esterno sono riuniti nel gruppo IX della *tabella di Mendelejev*, riportata nella *fig. 14 della Fisica 4^a*. Escludendo l'elio, che ha solo due elettroni, tutti gli altri elementi di questa colonna, cioè il *neon*, l'*argon*, il *cripton*, lo *xeno* ed il *radon*, hanno lo strato esterno completo con otto elettroni; perciò essi sono stabili e rifiutano ogni legame chimico fra loro o con altri elementi.

Se invece un atomo ha meno di otto elettroni in uno strato esterno diverso dallo strato K, manifesterà la tendenza ad accettare il legame chimico con altri atomi; questa capacità dell'atomo a legarsi chimicamente con altri atomi è detta VALENZA.

Esiste una certa relazione fra la valenza di un atomo ed il numero degli elettroni rotanti nello strato esterno. Quando gli elettroni dello strato esterno sono al completo, cioè otto, si dirà che l'atomo ha VALENZA ZERO; quando invece lo strato esterno è costituito da un solo elettrone o da sette elettroni, in genere si dirà che l'atomo ha VALENZA UNO, oppure

che è MONOVALENTE; analogamente quando lo strato esterno è costituito da due o da sei elettroni, in genere l'atomo ha VALENZA DUE, ossia è BIVALENTE; così pure quando lo strato esterno è costituito da tre o da cinque elettroni, in genere l'atomo ha VALENZA TRE, ossia è TRIVALENTE; infine quando lo strato esterno è costituito da quattro elettroni, l'atomo ha VALENZA QUATTRO, ossia è TETRAVALENTE.

Il criterio seguito per distinguere le valenze degli atomi in base al numero degli elettroni rotanti nello strato esterno non è però sempre valido, anzi vi sono numerose eccezioni: ad esempio l'*antimonio*, l'*arsenico* ed il *fosforo* che hanno cinque elettroni nello strato esterno possono essere trivalenti secondo il criterio adottato in precedenza, ma possono avere anche VALENZA CINQUE, ed in questo caso sono detti PENTAVALENTI; analogamente si trovano atomi che possono avere VALENZA SEI (ossia atomi ESAVALENTI) e VALENZA SETTE (atomi EPTAVALENTI).

Non è opportuno approfondire oltre il concetto generale di valenza, poiché esso è legato a studi molto complessi sulla struttura della materia, e d'altra parte non si richiedono tali nozioni per lo studio dei transistori; è bene invece illustrare meglio il legame chimico fra gli atomi di uno stesso elemento.

In precedenza abbiamo considerato il legame che si stabilisce fra due atomi di idrogeno quando i rispettivi nuclei vengono a trovarsi alla distanza di 0,75 Å. Questo particolare tipo di legame chimico fra atomi della stessa specie viene detto LEGAME COVALENTE od anche LEGAME OMO-POLARE.

Vediamo ora come si possa stabilire un legame covalente fra atomi che abbiano più di due elettroni rotanti e che abbiano nello strato esterno meno di otto elettroni. Consideriamo ad esempio alcuni atomi di un elemento tetraivalente, cioè un elemento che abbia lo strato esterno occupato da quattro elettroni.

Per fissare meglio le idee si può rappresentare l'atomo di un elemento tetraivalente come nella *fig. 3-a*. Basterà dare uno sguardo a questa figura per notare che si tratta di una rappresentazione semplificata: al centro si trova il nucleo dell'atomo; alla periferia si trovano i quattro elettroni dello strato esterno, che occuperanno diverse orbite, anche se queste non sono riportate nel disegno; nello strato esterno, fra gli elettroni, si vedono quattro « buchi », che rappresentano i posti liberi, nei quali potrebbero sistemarsi quattro altri elettroni in modo da rendere

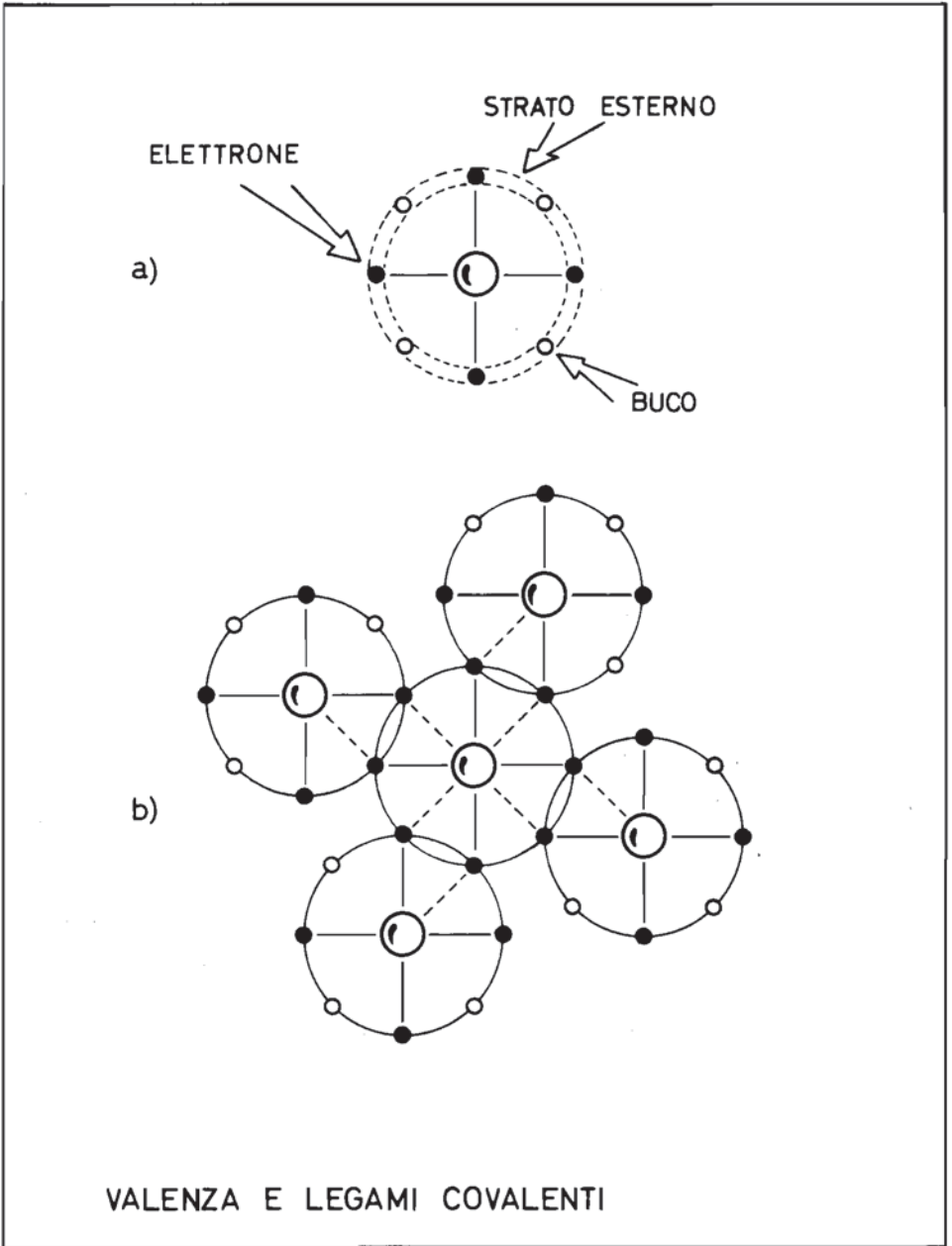


Fig. 3

completo lo strato esterno; non sono rappresentati invece gli elettroni degli strati interni, poiché questi non partecipano direttamente ai fenomeni chimici, né a quelli della conduzione elettrica che considereremo in seguito.

Con il modellino della *fig. 3-a* si possono rappresentare tutti gli atomi degli elementi tetravalenti appartenenti al gruppo IV della *tabella di Mendelejev (fig. 14, Fisica 4^a)*, ossia il carbonio, il silicio, il titanio, il germanio, lo zirconio, lo stagno, l'afnio ed il piombo.

Ora immaginiamo che ad un atomo tetravalente si avvicinino altri quattro atomi della stessa specie. Mentre questi atomi si trovano alla distanza di alcuni angström si potranno manifestare le forze di Van der Waals, ma a distanze più brevi, quando le orbite degli elettroni esterni vengono a toccarsi, si stabilisce un legame covalente fra l'atomo considerato e ciascuno dei quattro atomi che si sono avvicinati. I quattro legami covalenti sono rappresentati nella *fig. 3-b* dai quattro raggi tratteggiati che escono dal nucleo dell'atomo centrale e terminano su un elettrone dell'atomo vicino; inoltre, poiché ciascun legame è da considerarsi doppio, i quattro legami covalenti sono anche rappresentati dai raggi tratteggiati che partono dai nuclei dei quattro atomi periferici e si congiungono rispettivamente con uno dei quattro elettroni dell'atomo centrale.

Osservando la rappresentazione dell'atomo centrale come appare nella figura, notiamo ora che attorno al nucleo, nello strato esterno, si trovano otto elettroni; i quattro buchi indicati nella *fig. 3-a* sono scomparsi, essendo stato ognuno occupato da un elettrone fornito da un atomo periferico, perciò lo strato esterno dell'atomo centrale viene ad essere completo. In realtà gli otto elettroni dell'atomo centrale non appartengono esclusivamente allo stesso atomo; essi si suddividono in quattro coppie e ciascuna coppia di elettroni appartiene manifestamente all'atomo centrale e ad un atomo periferico, di modo che gli otto elettroni si trovano uniformemente distribuiti fra l'atomo centrale ed i quattro atomi periferici.

Il legame covalente esistente fra l'atomo centrale ed i quattro atomi periferici consiste soprattutto nel ripetuto scambio di energia dovuto al passaggio di elettroni da un atomo all'altro.

Questo legame fra gli atomi non è il solo possibile; esistono anche altri tipi di legami, che però non prenderemo in considerazione in quanto non presentano un interesse diretto per lo svolgimento del nostro studio.

2. - STRUTTURE DI CRISTALLI

Il funzionamento dei transistori dipende dalle proprietà dello strato elettronico esterno degli atomi di alcuni materiali detti SEMICONDUTTORI, ma è fondato soprattutto sullo stato di aggregazione dei materiali stessi.

Nella prima lezione di fisica abbiamo visto che in generale si possono distinguere tre stati d'aggregazione: lo stato *solido*, lo stato *liquido* e lo stato *gassoso*.

Le caratteristiche fisiche fondamentali dei semiconduttori si manifestano esclusivamente quando il materiale è allo stato solido; anzi occorre che il materiale si trovi in un particolare stato solido detto STATO CRISTALLINO. Per questo motivo si dice spesso genericamente che i transistori ed altri componenti a semiconduttori sono DISPOSITIVI ALLO STATO SOLIDO o anche DISPOSITIVI A CRISTALLO.

Lo stato cristallino si distingue dagli altri stati solidi per il fatto che gli atomi occupano nell'aggregato materiale una posizione fissa, secondo un ripetuto disegno geometrico, più o meno complesso.

Ad esempio, consideriamo un cristallo purissimo e perfetto di *cloruro di sodio* (sale da cucina). Il cloruro di sodio è un composto costituito da atomi di *cloro* e di *sodio* in eguali quantità. Se potessimo ingrandire un minuscolo cristallo di cloruro di sodio cinquanta milioni di volte, i vari atomi del cristallo ci apparirebbero disposti come nella *fig. 4a*. Lo stesso disegno geometrico si riproduce sempre uguale a sé stesso a mano a mano che aumentano le dimensioni del cristallo, di modo che tutto lo spazio occupato da un cristallo di grandi dimensioni si può immaginare come un fittissimo reticolo di atomi distribuiti in perfetto ordine secondo lo schema prefissato.

La struttura reticolare della *fig. 4a* è fondamentale per molti tipi di cristalli; ad esempio, i posti degli atomi di sodio (palline nere) pos-

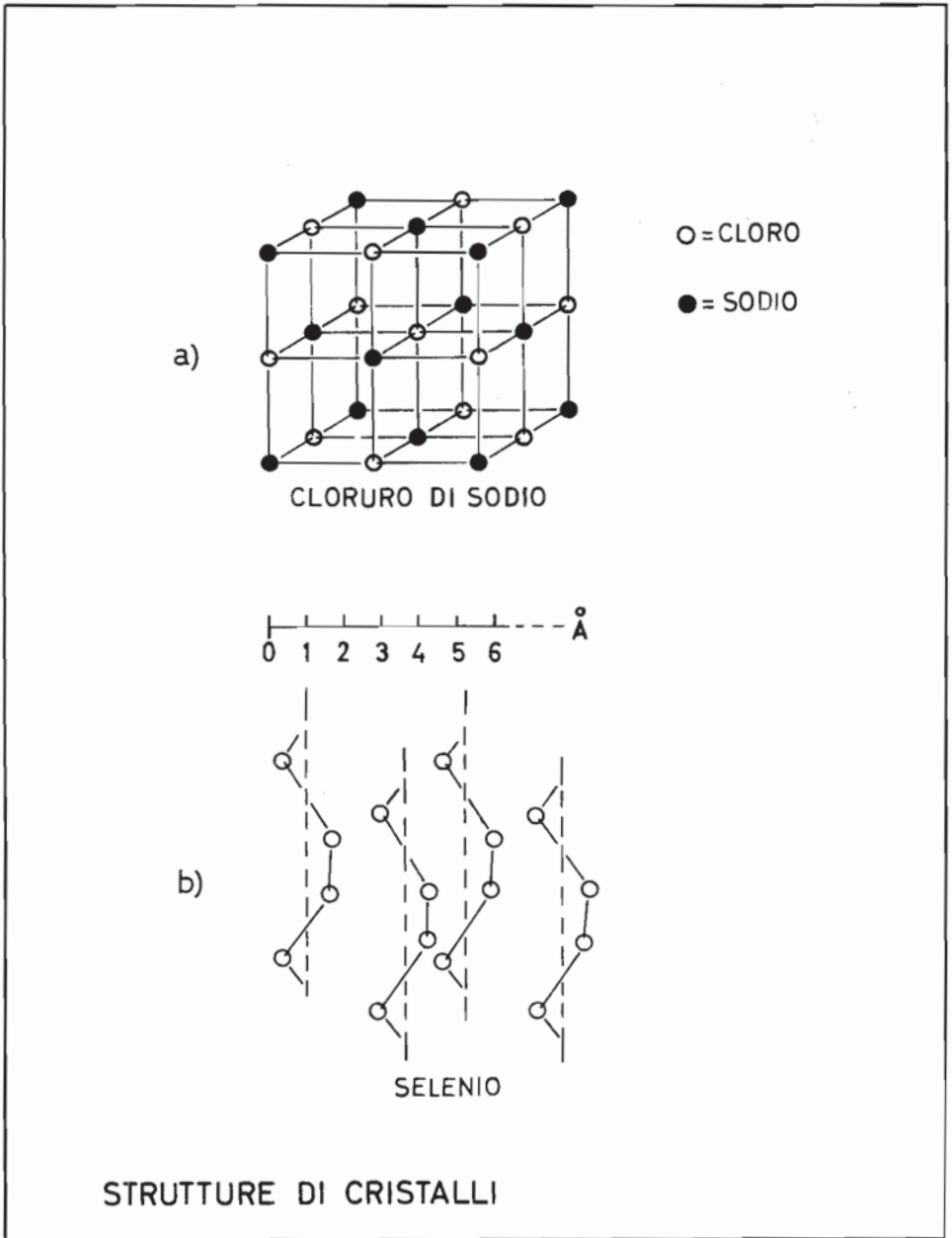


Fig. 4

sono essere occupati da atomi di rame e quelli degli atomi di cloro (palline bianche) possono restare liberi: così sono formati i cristalli di rame.

Esistono però numerose altre strutture reticolari cristalline di sostanze semplici e composte: nella *fig. 4b* si può vedere la rappresentazione del cristallo di selenio, sostanza semplice usata nella fabbricazione dei raddrizzatori solidi (raddrizzatori al selenio). Gli atomi nella struttura cristallina del selenio sono disposti a spirale attorno ad assi paralleli, che nella figura sono rappresentati dalle quattro verticali tratteggiate; le varie spirali sono parallele fra loro e si raggruppano in strati sovrapposti.

Fra le diverse strutture cristalline ha importanza fondamentale nello studio dei semiconduttori quella del diamante, presentata nella *fig. 5-a*.

Il diamante è costituito da atomi di carbonio disposti in modo che ciascun atomo si trovi circondato da altri quattro, tutti alla stessa distanza da quello centrale ed uniformemente distribuiti nello spazio circostante (*fig. 5-b*).

La distanza d fra l'atomo centrale ed i quattro atomi vicini che lo circondano è costante in ogni punto del reticolo cristallino ed è uguale a poco meno di 2 ångström. Tutti gli atomi del cristallo sono tenuti insieme da *legami covalenti* dello stesso tipo rappresentato nella *fig. 3-b*.

Ricordando quanto è già stato detto circa la natura di questo legame, possiamo completare mentalmente la rappresentazione del reticolo del diamante immaginando tutto lo spazio fra atomo ed atomo occupato da un intenso « traffico elettronico »; si tratta cioè del continuo scambio di elettroni fra gli strati esterni degli atomi di carbonio. Questi elettroni vagano negli spazi vuoti del reticolo cristallino passando da un'orbita all'altra, ma non sono mai veramente liberi: essi restano sempre legati al reticolo formato dagli atomi a cui originariamente appartenevano, né potrebbero sotto l'azione di un campo elettrico esterno formare un flusso continuo di corrente; per questo motivo il diamante deve considerarsi un cattivo conduttore di elettricità.

Per presentare il reticolo del diamante in modo più semplice si può ricorrere alla rappresentazione piana della *fig. 5-c*. In questa rappresentazione è messo chiaramente in evidenza il fatto che le distanze fra ciascun atomo ed i quattro atomi più vicini sono uguali fra loro; inoltre si trovano riportati tutti gli elettroni appartenenti agli strati esterni ed inte-

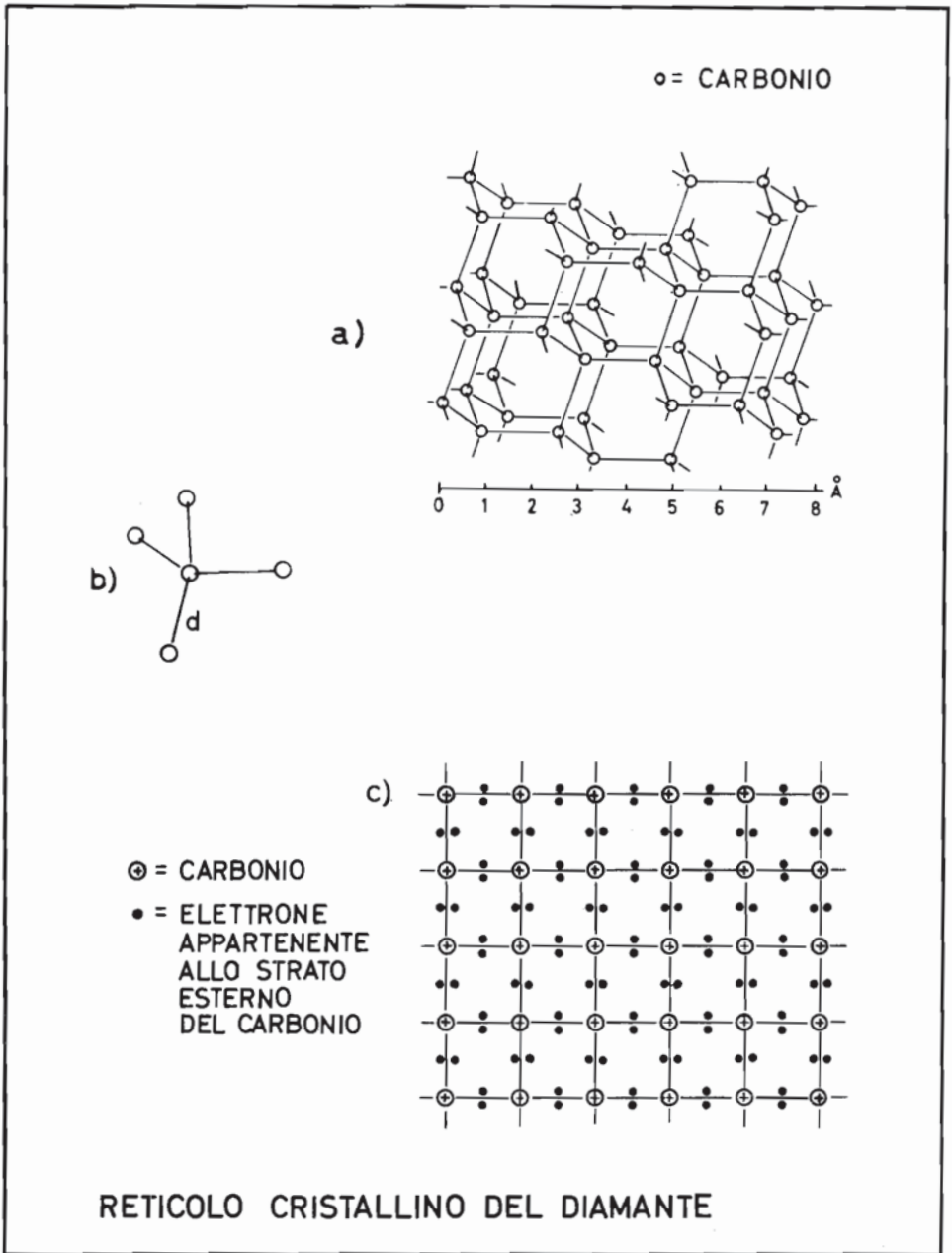


Fig. 5

ressati alla formazione dei legami covalenti. Questo tipo di rappresentazione è sostanzialmente simile a quella usata nella *fig. 3-b* per illustrare i legami covalenti; ad esso si farà ricorso nel seguito di questa lezione ogniqualvolta occorrerà riferirsi al reticolo cristallino dei semiconduttori.

3. - SEMICONDUTTORI INTRINSECI

Si è già accennato all'esistenza di materiali semiconduttori ed alla loro importanza nello studio che si è intrapreso.

In genere sono dette « semiconduttori » le sostanze che hanno conduttività elettrica intermedia fra quella dei conduttori e quella degli isolanti.

Sono semiconduttori l'OSSIDULO DI RAME ed il SELENIO, usati in alcuni tipi di raddrizzatori; vari OSSIDI e SALI METALLICI ed altre sostanze; ma fra tutti i semiconduttori hanno massima importanza il GERMANIO ed il SILICIO.

Nella *fig. 6* sono rappresentati i modellini atomici di questi due elementi. Osservando i modellini si nota immediatamente che gli strati esterni degli atomi sono occupati da quattro elettroni (quattro nello strato N del germanio e quattro nello strato M del silicio), perciò i due elementi sotto questo punto di vista possono essere considerati tetravalenti, cioè simili al carbonio.

D'altra parte il carbonio, il silicio ed il germanio appartengono allo stesso gruppo della classificazione di Mendelejev (*gruppo IV, fig. 14 della Fisica 4°*) e risulta anche che nello stato cristallino hanno un reticolo simile a quello del diamante (*fig. 5-a*). Quindi tutte le considerazioni fatte circa il reticolo del diamante ed i legami covalenti fra gli atomi di carbonio che formano tale reticolo si possono estendere anche ai cristalli di germanio e di silicio. Tuttavia per comprendere la funzione svolta da questi cristalli nei vari dispositivi a semiconduttori dovremo riprendere ed approfondire lo studio dei fenomeni che avvengono nei reticoli.

Studiando il reticolo del diamante si è segnalato che gli elettroni appartenenti allo strato esterno di ciascun atomo si possono considerare

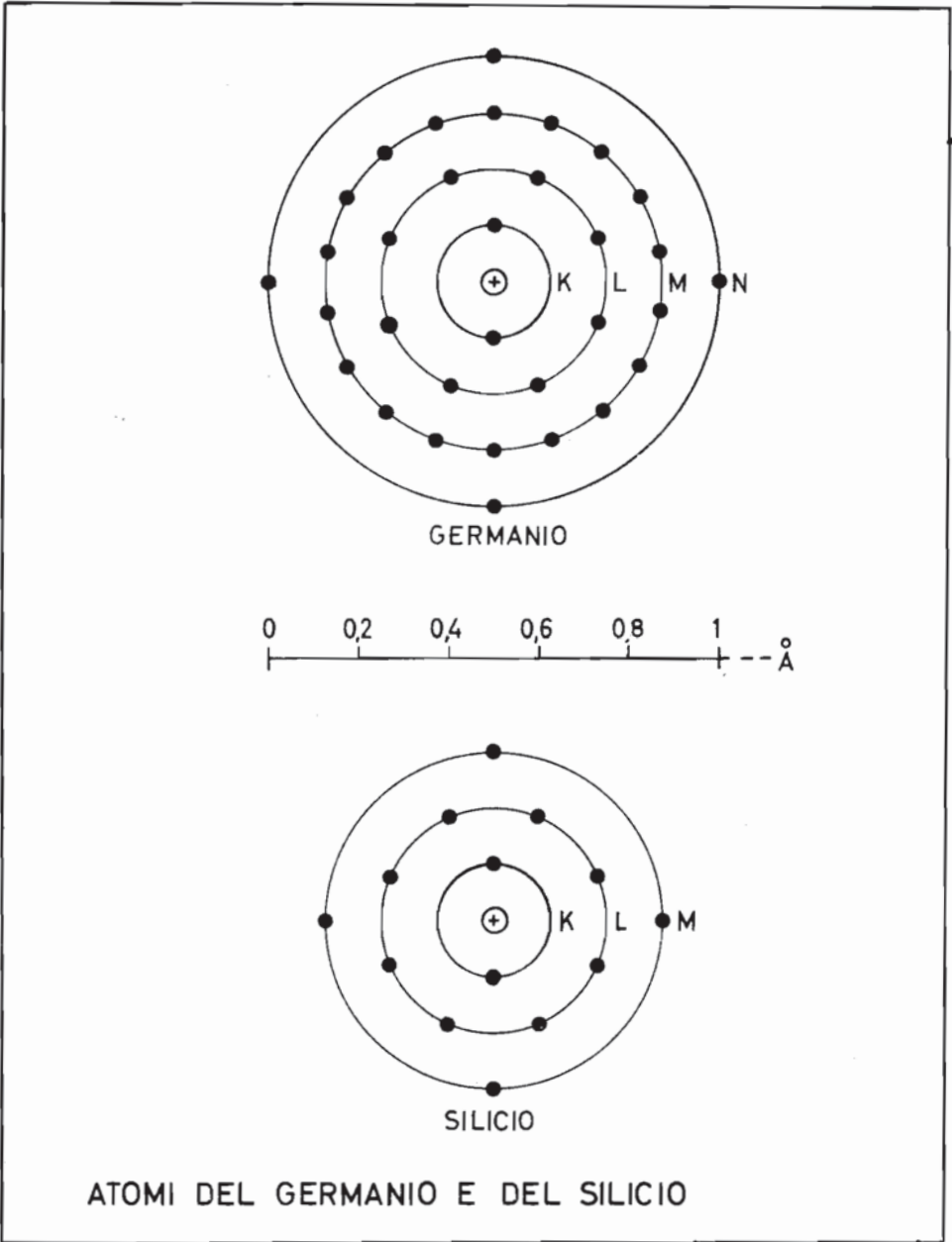


Fig. 6

vaganti da un'orbita all'altra e da un atomo all'altro, ma che tuttavia essi rimangono legati agli spazi del reticolo e non possono partecipare alla formazione di una corrente continua. Ora occorre precisare che in altri cristalli il traffico elettronico può essere influenzato più o meno energicamente dall'esterno e numerosi elettroni sotto l'azione di un campo elettrico esterno si possono convogliare in un flusso di corrente continua: ciò significa che si possono avere cristalli conduttori di elettricità più o meno buoni, come si possono avere cristalli isolanti quali il diamante. I cristalli di germanio e di silicio sono conduttori e noi ora esamineremo come avvenga in essi la conduzione elettrica.

Per meglio ordinare le nozioni che via via si esporranno sull'argomento, suddividiamo gli elettroni appartenenti agli strati esterni degli atomi che formano un reticolo cristallino in due categorie: gli ELETTRONI DI VALENZA, indicati nella *fig. 7* con semplici tondini neri, e gli ELETTRONI

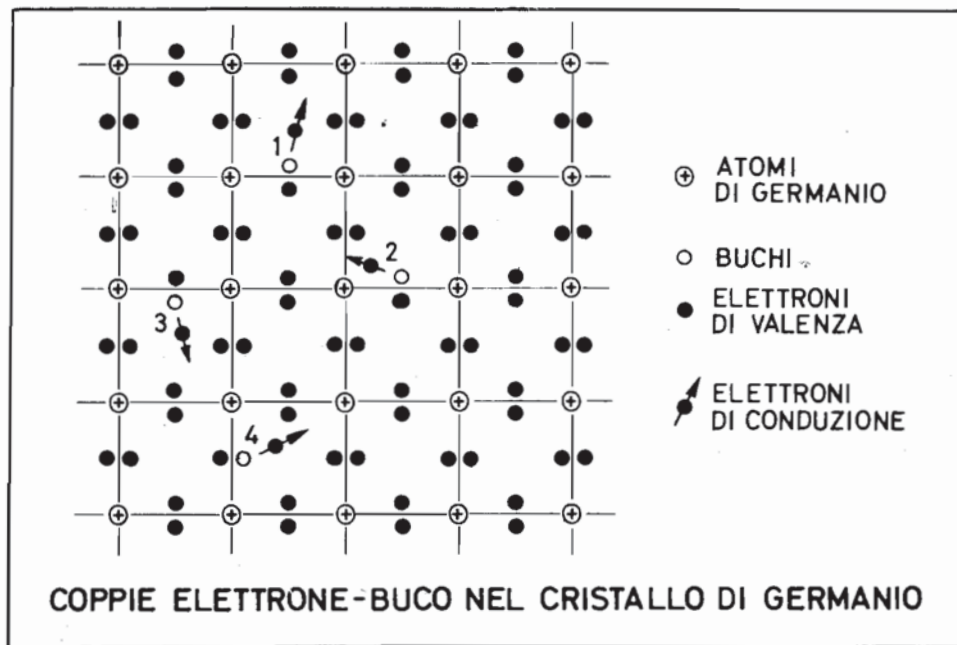


Fig. 7

DI CONDUZIONE, indicati nella medesima figura con tondini neri attraversati da una piccola freccia.

Gli elettroni di valenza sono quelli che pur spostandosi da un atomo all'altro restano tuttavia legati agli spazi del reticolo, proprio come avviene nel reticolo del diamante; gli elettroni di conduzione sono invece quelli che durante i vari spostamenti acquistano energia sufficiente per sfuggire ad ogni legame del reticolo e possono eventualmente formare un flusso di corrente continua.

In un cristallo purissimo, geometricamente perfetto e mantenuto ad una temperatura molto vicina allo zero assoluto, tutti gli elettroni provenienti dagli strati esterni degli atomi appartengono alla categoria degli elettroni di valenza, o, per usare un'espressione corrente in fisica, alla BANDA DI VALENZA. Peraltro se si aumenta la temperatura, o si deforma il reticolo, o si espone il cristallo ad un campo elettrico molto intenso, parte degli elettroni di valenza acquistando energia si trova ad essere svincolata dal reticolo, cioè passa dalla banda di valenza alla BANDA DI CONDUZIONE. Il fenomeno può essere più o meno rilevante a seconda del tipo di cristallo: nel diamante alle normali temperature ambientali il fenomeno si mantiene trascurabile, e perciò tutti gli elettroni degli strati esterni si possono ritenere praticamente inclusi nella banda di valenza; nei cristalli di germanio alla temperatura ambientale di circa 18 °C accade invece che *un elettrone su un miliardo di atomi passa dalla banda di valenza alla banda di conduzione, cioè si rende libero 1 elettrone su un totale di 4 miliardi di elettroni di valenza.*

A prima vista, confrontando semplicemente i numeri dati, potrebbe sembrare che 1 elettrone rispetto ad altri 4 miliardi di elettroni costituisca un'entità trascurabile; in realtà occorre tenere presente che in tal modo *si vengono a produrre in un centimetro cubo di germanio ben diecimila miliardi di elettroni liberi; questa quantità di elettroni non è affatto trascurabile, essendo sufficiente a rendere conduttore il cristallo di germanio.*

Vediamo ora che cosa accade in un cristallo in cui si siano prodotti elettroni liberi.

L'elettrone libero vaga disordinatamente negli spazi del reticolo a differenza degli elettroni di valenza che percorrono gli stessi spazi passando da atomo ad atomo su percorsi obbligati; però dal momento in cui si rompe il legame e l'elettrone lascia il suo posto, nel percorso obbligato si crea un vuoto o, come si dice correntemente, si ha un BUCO (o CAVITÀ, o LACUNA). Nella *fig. 7* sono indicati quattro elettroni liberi (elettroni di conduzione) ed in corrispondenza si hanno quattro buchi, distinti rispettivamente con i numeri 1, 2, 3 e 4.

Il buco rappresenta una carica elettrica uguale a quella dell'elettrone; la carica del buco è però positiva anziché negativa, in quanto essa deriva dall'eccedenza della carica positiva dei nuclei atomici privati dell'elettrone reso libero.

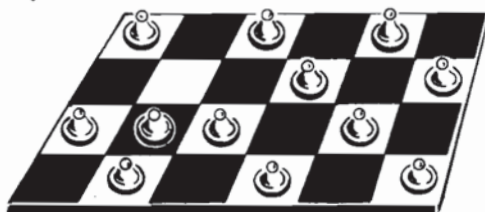
Quando in un cristallo purissimo e perfetto vi sono numerosi elettroni liberi, si deve supporre che esistano di conseguenza altrettanti buchi; ora questi buchi non si debbono immaginare stabilmente vuoti, poiché può darsi, ed è probabile, che essi vengano successivamente occupati da altri elettroni di valenza, e pertanto in questo caso il buco scompare, ma si riforma contemporaneamente nel posto lasciato libero dall'elettrone di valenza che l'ha occupato. Sotto questo punto di vista possiamo dunque ritenere che anche i buchi si spostino da un punto all'altro del reticolo in modo del tutto imprevedibile e disordinato, come gli elettroni liberi.

Il movimento disordinato degli elettroni di conduzione ed il movimento egualmente disordinato dei buchi costituiscono l'aspetto fondamentale della conduzione elettrica nei semiconduttori.

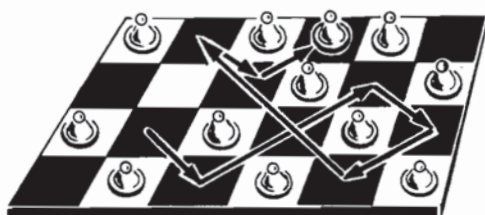
Per meglio fissare le idee su questi movimenti di elettroni e di buchi possiamo ricorrere ai modellini presentati nella *fig. 8* e nella *fig. 9*.

La scacchiera rappresenta il reticolo di un cristallo semiconduttore; in essa le pedine che si trovano sui quadrati bianchi rappresentano gli elettroni di valenza legati al reticolo cristallino; la pedina che si trova su un quadrato nero rappresenta un elettrone di conduzione libero da legami covalenti; il quadrato bianco vuoto rappresenta il buco lasciato

a)

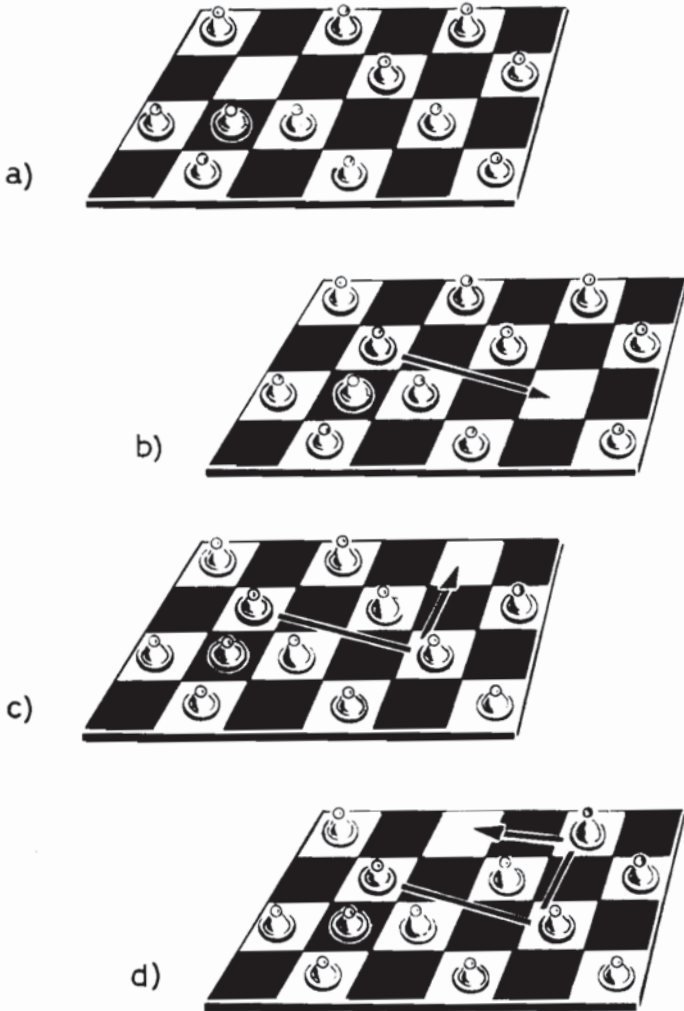


b)



RAPPRESENTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI
DI UN ELETTRONE LIBERO IN UN CRISTALLO
SEMICONDUCTORE

Fig. 8



RAPPRESENTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI
DI UN BUCO IN UN CRISTALLO SEMICONDUITTORE

Fig. 9

dall'elettrone libero durante il passaggio dalla banda di valenza alla banda di conduzione.

L'elettrone libero si può muovere disordinatamente negli spazi del reticolo nello stesso modo con il quale la pedina che si trova sul quadrato nero può essere spostata sulla scacchiera di quadrato nero in quadrato nero (*fig. 8-b*).

Contemporaneamente anche il buco si può muovere disordinatamente seguendo un suo percorso, diverso da quello dell'elettrone libero; ma il movimento del buco non è così semplice come quello dell'elettrone libero e per rappresentarlo occorre considerare ciò che accade in tempi successivi.

Affinché un buco si sposti occorre che un elettrone di valenza venga ad occuparlo lasciando libero un nuovo buco, proprio come per spostare il quadrato bianco libero della *fig. 9-a* occorre che esso venga occupato dalla pedina di un altro quadrato bianco; infatti guardando la scacchiera della *fig. 9-b* si vede che spostando la pedina le cose vanno come se il quadrato bianco si fosse realmente spostato nel senso della freccia.

Lo stesso gioco si può ripetere anche con altre pedine (*fig. 9-c* e *fig. 9-d*), di modo che il quadrato bianco libero sembrerà vagare disordinatamente per la scacchiera, proprio come i buchi vagano disordinatamente nel reticolo di un cristallo.

In genere il movimento di un elettrone libero e quello di un buco non hanno durata illimitata. Infatti a causa dell'agitazione termica di tutte le particelle del cristallo accade spesso che l'elettrone libero urti contro un altro elettrone o contro un atomo, perdendo così l'energia che in precedenza lo aveva fatto passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione. Con la perdita d'energia l'elettrone di conduzione viene attratto da un buco, e così il buco cessa di esistere e l'elettrone cessa di essere libero ritornando nella banda di valenza.

Nella *fig. 10* può vedere la rappresentazione semplificata (senza elettroni di valenza) di un reticolo cristallino e dei percorsi compiuti da un elettrone libero e da un buco. L'elettrone partendo dal punto A e seguendo

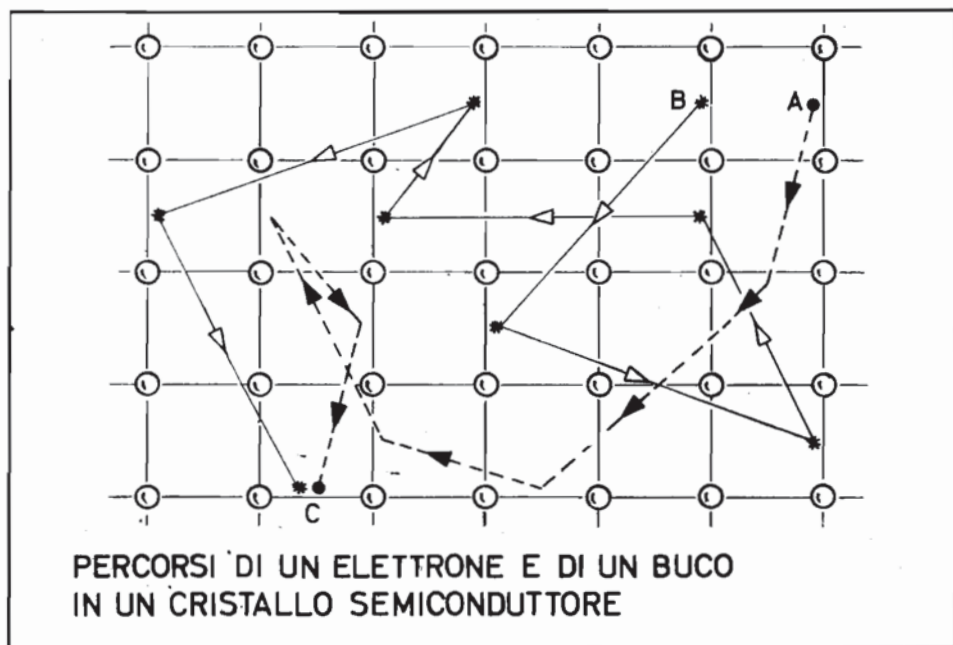


Fig. 10

il percorso tratteggiato arriva nel punto C; di solito esso si muove lungo traiettorie rettilinee cambiando direzione ad ogni urto con altre particelle. Peraltro il buco partendo dal punto B e seguendo il percorso indicato con la linea continua arriva anch'esso nel punto C. In quel punto del reticolo se l'elettrone a causa degli urti subiti ha perso l'energia acquistata in precedenza, potrà combinarsi con il buco: in tal caso scomparirà definitivamente il buco e l'elettrone passerà dalla banda di conduzione alla banda di valenza.

Finora ci siamo occupati di cristalli semiconduttori purissimi e perfetti, nei quali il numero degli elettroni liberi è da ritenersi esattamente uguale al numero dei buchi; questi semiconduttori sono indicati con il nome di SEMICONDUTTORI INTRINSECI per distinguerli da altri tipi di semiconduttori che studieremo nella prossima lezione.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 1*

1. - Quanti elettroni si trovano nello strato esterno degli atomi del carbonio, del germanio e del silicio?
 2. - Quale legame esiste fra gli atomi nei cristalli del diamante, del germanio e del silicio?
 3. - Che cosa sono i semiconduttori?
 4. - Che cosa sono gli elettroni di valenza?
 5. - Che cosa sono i buchi?
-

I semiconduttori usati per la fabbricazione dei transistori non sono quasi mai del tipo intrinseco studiato nella lezione precedente.

Al semiconduttore intrinseco generalmente viene aggiunta una certa quantità di sostanze estranee che si distribuiscono in tutto il cristallo e modificano lo stato elettrico del reticolo. Perciò ora, riprendendo lo studio dei semiconduttori, consideriamo le conseguenze attribuibili alla presenza nel reticolo cristallino di atomi di specie diversa.

1. - SEMICONDUTTORI N E SEMICONDUTTORI P

Supponiamo di poter intervenire direttamente nella struttura di un minuscolo cristallo di germanio purissimo e perfetto, nel quale inizialmente vi sia un ben definito numero di elettroni liberi ed un numero uguale di buchi. In questo cristallo ad ogni istante parte degli elettroni liberi torna alla banda di valenza in seguito alle perdite di energia dovute agli urti, ma contemporaneamente altri elettroni passano dalla banda di valenza a quella di conduzione; se la temperatura del cristallo rimane costante, anche l'ammontare degli elettroni liberi e dei buchi rimane costante.

Ora, per fissare le idee, immaginiamo che nello spazio del reticolo vi siano due soli elettroni liberi e due buchi, e che, intervenendo nella struttura del cristallo, si sostituiscano tre atomi di germanio con altrettanti atomi di ANTIMONIO (*fig. 1-a*).

In pratica non accadrà mai che in un cristallo alla normale temperatura ambientale vi siano soltanto due elettroni liberi e due buchi, né tantomeno potrà accadere che il numero degli atomi di antimonio sia dello stesso ordine di grandezza di quello degli elettroni liberi; in realtà gli elettroni liberi ed i buchi contenuti in un centimetro cubo di cristallo sono migliaia di miliardi e gli atomi di antimonio si trovano nel

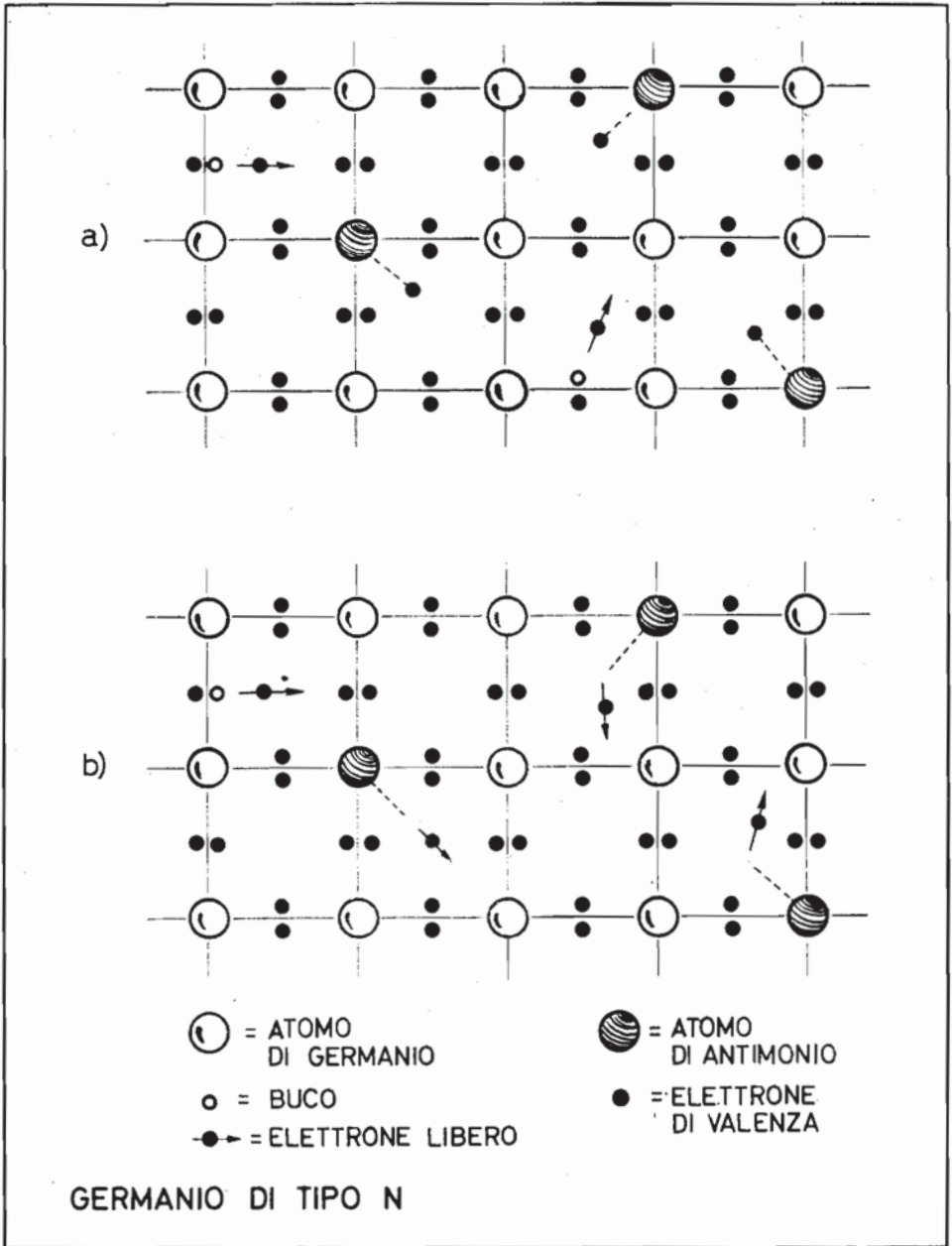


Fig. 1

rapporto di 1 su 1.000.000 di elettroni liberi del semiconduttore intrinseco.

L'antimonio è un elemento che appartiene al *gruppo V* della classificazione di Mendelejev (*Fisica 4^a, fig. 14*); nello strato esterno del suo atomo si trovano cinque elettroni. Di questi elettroni quattro potranno contribuire a ristabilire i legami covalenti con i vicini atomi di germanio, mentre il quinto, non trovando posto nei legami covalenti, resterà inizialmente legato soltanto al proprio atomo. Il legame fra il quinto elettrone periferico dell'antimonio ed il rispettivo atomo non è però così forte come i legami covalenti, perciò si romperà facilmente ed il quinto elettrone entrerà quasi subito nella banda di conduzione perdendosi fra gli elettroni liberi del cristallo.

Tornando all'esempio numerico fatto in precedenza, mediante la sostituzione di tre atomi di germanio con tre atomi di antimonio si dovrebbero immettere praticamente nel reticolo del cristallo tre nuovi elettroni liberi che, aggiunti ai primi due, porterebbero a cinque l'ammontare degli elettroni liberi. In realtà, se la temperatura si mantiene costante, passato un certo tempo dalla sostituzione del germanio con l'antimonio, nel cristallo potrebbero esserci quattro elettroni liberi ed un solo buco (*fig. 1-b*). L'aumento degli elettroni liberi si spiega facilmente con la liberazione del quinto elettrone periferico degli atomi di antimonio; la diminuzione dei buchi invece si spiega ammettendo che un certo numero di elettroni liberi occupi un numero uguale di buchi determinandone la scomparsa.

In questo modo si avrà un aumento degli elettroni liberi, ma non così grande come si potrebbe ottenere se tutti gli elettroni forniti dagli atomi dell'antimonio si sommassero semplicemente agli elettroni liberi preesistenti.

In generale si potrà considerare valida la seguente legge: *nei cristalli semiconduttori a temperatura costante, per ogni aumento degli elettroni liberi si ha una proporzionale diminuzione dei buchi in modo da lasciare invariato il prodotto del numero degli elettroni liberi per il numero dei buchi.*

Nell'esempio della *fig. 1* inizialmente gli elettroni liberi sono due e due i buchi, perciò il prodotto risulta essere $2 \times 2 = 4$. Dopo la sostituzione dei tre atomi di germanio con tre atomi di antimonio gli elettroni liberi aumentano, passando da due a quattro, ed i buchi diminuiscono,

passando da due ad uno, ma il prodotto resta sempre uguale al valore precedente ($4 \times 1 = 4$).

Una situazione analoga a quella ora considerata si determina anche quando si sostituiscano tre atomi di germanio con tre atomi di INDIO (fig. 2-a).

L'indio è un elemento che appartiene al *gruppo III* della classificazione di Mendelejev (*Fisica 4°, fig. 14*); nello strato esterno del suo atomo si trovano tre elettroni, ossia uno in meno rispetto ai quattro richiesti per completare i legami covalenti con i vicini atomi di germanio. Quindi dopo la sostituzione dei tre atomi di germanio con atomi di indio nel reticolo cristallino si avranno tre legami covalenti indeboliti per la mancanza di un elettrone, cioè si avranno tre nuovi buchi. I legami indeboliti sono indicati nella fig. 2 mediante le linee tratteggiate che vanno dagli atomi di indio ad uno dei quattro atomi di germanio circostanti; i buchi che compaiono con i legami indeboliti vengono rappresentati con tondini bianchi uguali a quelli dei buchi formati nei legami covalenti in seguito alla liberazione di un elettrone di valenza.

Aggiungendo ai due buchi esistenti nel germanio intrinseco i tre buchi introdotti con gli atomi di indio, ora si dovrebbero avere complessivamente cinque buchi e due elettroni liberi. In realtà, se la temperatura si mantiene costante, passato un certo tempo dalla sostituzione del germanio con l'indio, nel cristallo potranno esserci quattro buchi ed un solo elettrone libero (fig. 2-b).

L'aumento dei buchi è evidente, data la mancanza di un elettrone periferico in ciascun atomo d'indio. La diminuzione degli elettroni liberi si può invece spiegare ammettendo che parte di questi elettroni cada nei buchi e vi resti stabilmente ricostituendo un certo numero di legami covalenti. In questo modo si avrà un aumento di buchi, ma non così grande come si potrebbe ottenere se tutti i buchi formati con la sostituzione degli atomi di germanio con atomi d'indio si sommassero a quelli preesistenti.

In generale, si potrà considerare valida la seguente legge: *nei cristalli semiconduttori a temperatura costante, per ogni aumento dei buchi si ha una proporzionale diminuzione degli elettroni liberi, in modo da lasciare invariato il prodotto dei buchi per gli elettroni liberi.*

Nell'esempio della fig. 2 inizialmente il prodotto dei buchi per gli

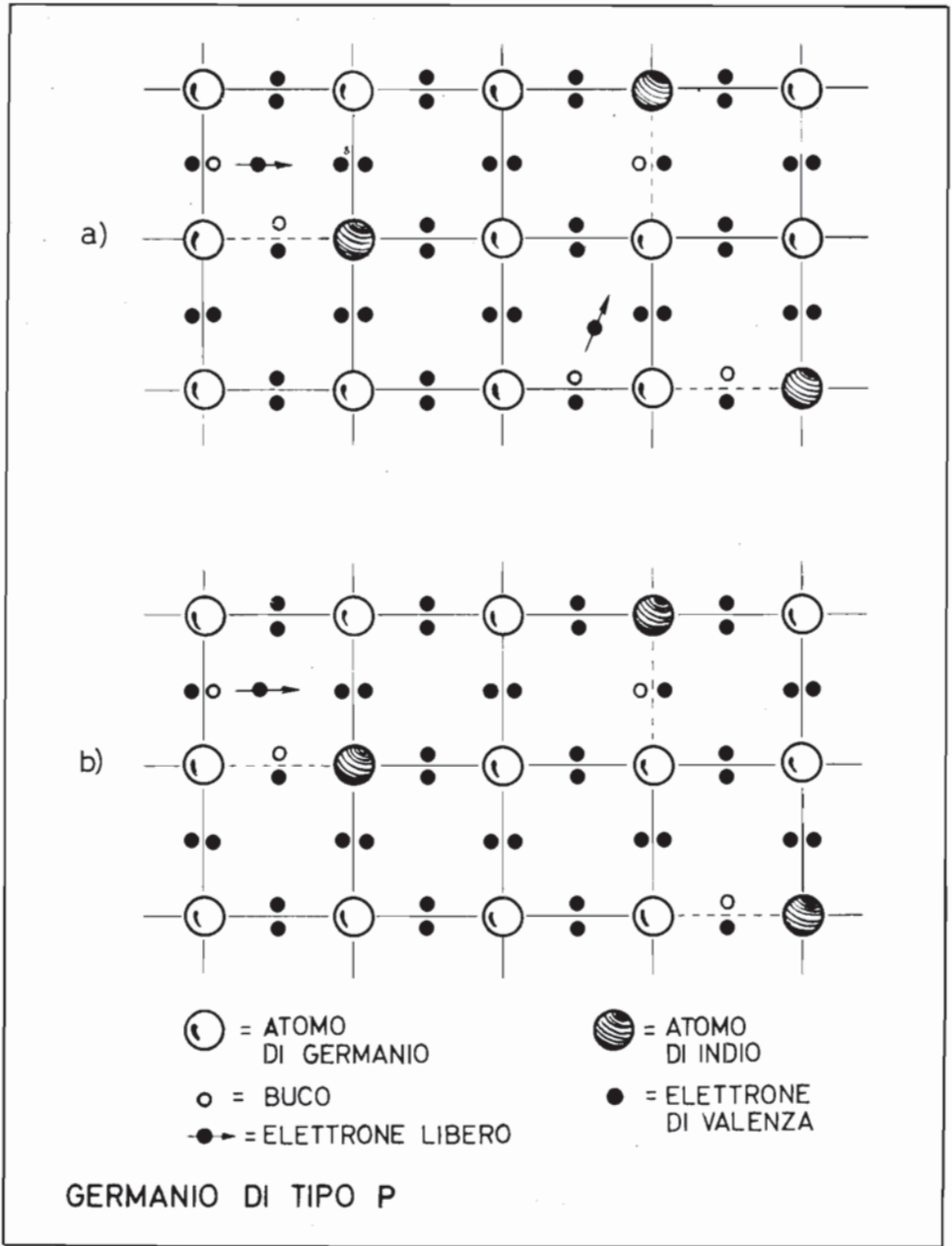


Fig. 2

elettroni liberi è uguale a 4, come già nell'esempio della *fig. 1*. Dopo la sostituzione dei tre atomi di germanio con tre atomi di indio i buchi aumentano, passando da due a quattro, e gli elettroni liberi diminuiscono, passando da due ad uno, ma il prodotto resta sempre uguale al valore precedente ($4 \times 1 = 4$).

Riassumendo quanto è stato esposto finora, possiamo suddividere i semiconduttori in tre tipi:

— i SEMICONDUTTORI INTRINSECI, cioè quelli che hanno *elettroni liberi e buchi in eguali quantità* (*fig. 3-a*);

— i SEMICONDUTTORI N, che usualmente si formano introducendo in un cristallo semiconduttore atomi di elementi appartenenti al *gruppo V* della tabella di Mendelejev (*Fisica 4^a, fig. 14*); in essi *il numero degli elettroni liberi è molto maggiore di quello dei buchi* (*fig. 3-b*);

— i SEMICONDUTTORI P, che usualmente si formano introducendo in un cristallo semiconduttore atomi di elementi appartenenti al *gruppo III* della tabella di Mendelejev; in essi *il numero dei buchi è molto maggiore di quello degli elettroni liberi* (*fig. 3-c*).

Gli elementi del *gruppo V* della tabella di Mendelejev usati per formare i semiconduttori N sono l'*antimonio*, l'*arsenico* ed il *fosforo*; essi sono detti DATORI od anche DONATORI. Gli elementi del *gruppo III* usati per formare i semiconduttori P sono l'*indio*, il *boro*, il *gallio* e l'*alluminio*; essi sono detti ACCETTORI.

Vediamo ora come avvenga la conduzione elettrica nei tre tipi di semiconduttori sopraelencati.

In un blocchetto di semiconduttore intrinseco, attraversato dalla corrente erogata da una pila (*fig. 3-a*), si determinano due flussi di cariche elettriche: un flusso costituito da elettroni liberi che vanno dall'estremità B (lato negativo della pila) all'estremità A (lato positivo della pila), e un altro flusso costituito da buchi che spostandosi da un atomo all'altro del reticolo cristallino vanno in senso opposto al precedente, cioè dall'estremità A all'estremità B. I due flussi sono costituiti da eguali quantità di cariche elettriche, poiché nel semiconduttore intrinseco il numero degli elettroni liberi è uguale a quello dei buchi.

Nei collegamenti metallici interposti fra l'estremità del semiconduttore e la pila c'è invece un unico flusso costituito da elettroni.

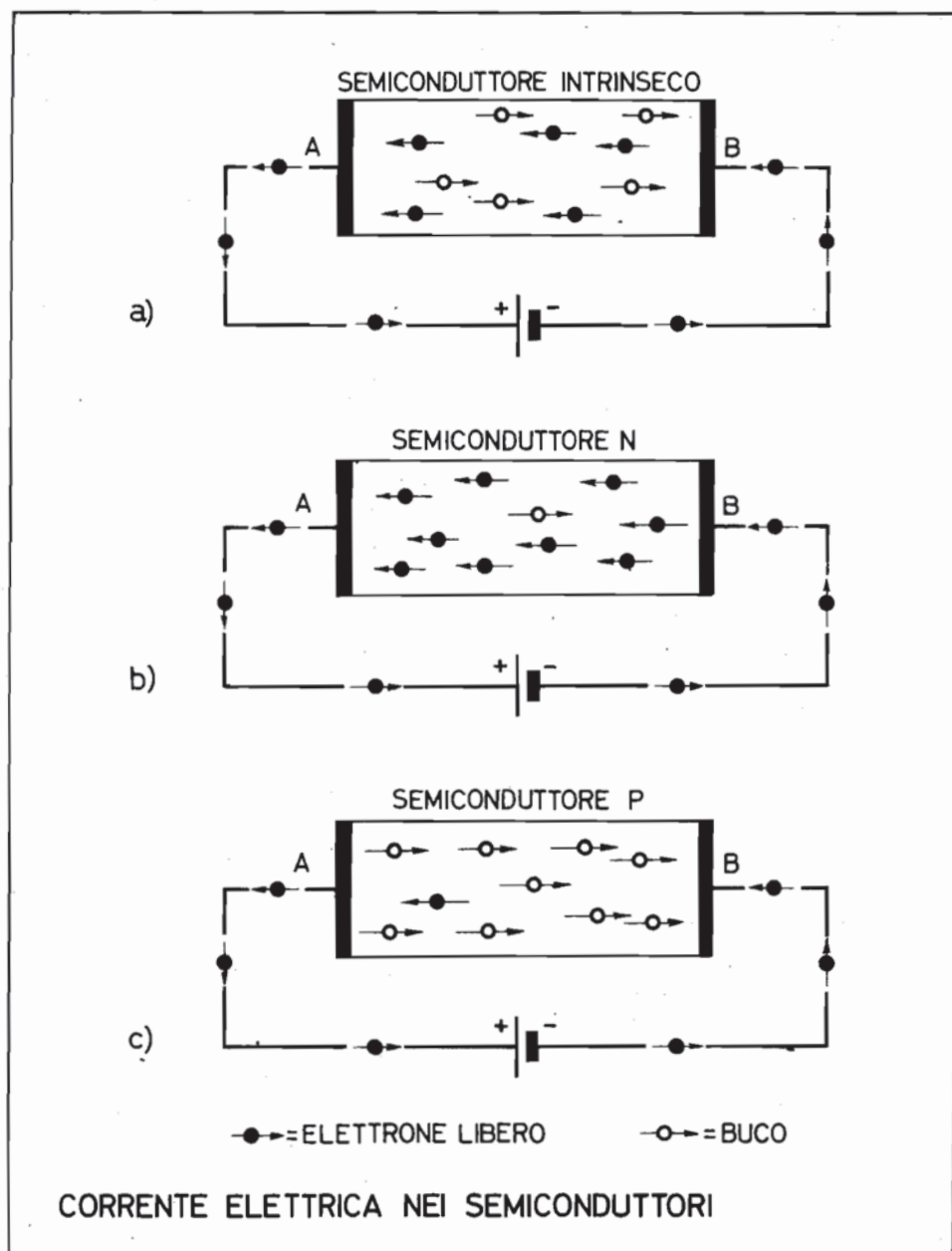


Fig. 3

Ricordiamo ora che la corrente erogata da una pila è continua e che essa ha sempre la medesima intensità in ogni sezione del conduttore; ciò significa che *ad ogni secondo lo stesso numero di elettroni entra nel filo conduttore dall'estremità A ed esce dal conduttore verso l'estremità B*; oppure, considerando le cose dall'interno del semiconduttore, si può dire che *ad ogni secondo lo stesso numero di elettroni esce ed entra per le estremità del blocchetto (fig. 3-a)*.

Per semplificare i concetti relativi alla conduzione elettrica nei semiconduttori conviene immaginare che ad ogni istante un elettrone esca dall'estremità A ed un altro elettrone entri per l'estremità B; in questo modo il numero degli elettroni entranti e quello degli elettroni uscenti resterà sempre uguale.

L'elettrone uscente appartiene alla banda di conduzione, ossia è un elettrone libero, perciò non avendo vincoli con il reticolo cristallino può lasciare liberamente il semiconduttore ed avviarsi verso il positivo della pila. Dall'altra parte l'elettrone entrante incontra i buchi, i quali possono muoversi nel reticolo e concentrarsi nell'estremità collegata al negativo della pila, ma non possono lasciare il reticolo stesso, in quanto sono costituiti essenzialmente da posti vuoti entro la banda di valenza degli atomi del semiconduttore.

Quando l'elettrone proveniente dal negativo della pila incontra i buchi esso occupa un posto vuoto nella banda di valenza, determinando così la scomparsa di un buco.

Riassumendo, vediamo che *ad ogni istante, mentre un elettrone esce ed un altro entra, nel semiconduttore si ha la perdita di un elettrone libero e la scomparsa di un buco*.

Ripetendosi il processo ora descritto tante volte quanti sono gli elettroni liberi od i buchi, dovremmo attenderci che ad un certo istante il semiconduttore resti privo di elettroni liberi e di buchi; in realtà il numero degli elettroni liberi e dei buchi presenti nel reticolo dipende esclusivamente dalla temperatura del materiale. Se la temperatura del blocchetto semiconduttore resta costante si deve ammettere che, *per ogni coppia elettrone-buco scomparsa, in un punto del semiconduttore si generano un altro elettrone libero ed un altro buco*. Così i due flussi, quello degli elettroni liberi, che nel semiconduttore va dall'estremità B all'estremità A, e quello dei buchi, che nel medesimo semiconduttore va

in senso opposto al precedente, sono alimentati in continuità finché dura l'erogazione di corrente della pila.

In un blocchetto di semiconduttore N attraversato dalla corrente erogata da una pila (*fig. 3-b*) i fenomeni della conduzione elettrica si distinguono da quelli descritti, poiché il numero degli elettroni liberi è maggiore del numero dei buchi. In tal caso nel semiconduttore si formano due flussi di cariche elettriche, uno maggiore dell'altro: gli elettroni liberi, che formano il flusso maggiore, sono detti genericamente **PORTATORI DI MAGGIORANZA**; i buchi, che formano il flusso minore, sono detti genericamente **PORTATORI DI MINORANZA**.

Nel semiconduttore N non può però accadere che ciascun elettrone proveniente dal negativo della pila incontrando i buchi occupi subito un posto vuoto nella banda di valenza, determinando così la scomparsa di un buco; anzi, essendo il numero dei buchi inferiore a quello degli elettroni liberi, si può immaginare che elettroni provenienti dall'estremità B possano attraversare con una certa facilità tutto il blocchetto semiconduttore conservandosi sempre nella banda di conduzione.

Similmente, nel blocchetto di semiconduttore P (*fig. 3-c*) si formano due flussi di cariche elettriche, uno maggiore dell'altro; ma ora, a differenza di quanto avviene nel semiconduttore N, il flusso maggiore è formato dai buchi (*portatori di maggioranza*), ed il flusso minore è formato dagli elettroni liberi (*portatori di minoranza*). Nel semiconduttore P è molto improbabile che un elettrone libero attraversi tutto il blocchetto dall'estremità B all'estremità A. In genere gli elettroni liberi che escono dal semiconduttore ed i buchi che vanno da un estremo all'altro del medesimo semiconduttore si producono presso l'estremità A. Da questo punto le due cariche opposte si separano: l'elettrone va verso il positivo della pila attraverso il collegamento, ed il buco va verso l'estremità B del blocchetto, dove scomparirà non appena il suo posto sarà occupato da un elettrone proveniente dal negativo della pila.

Fissate le nozioni fondamentali sulla struttura interna dei semiconduttori allo stato cristallino, vediamo ora come questi materiali siano utilizzati nella fabbricazione di vari dispositivi.

2. - DISPOSITIVI A SEMICONDUTTORI

La famiglia dei dispositivi a semiconduttori, che comprende il transistor quale componente più noto, è numerosa e si è molto accresciuta in questi ultimi anni, ma non è così nuova come il recente e diffuso interesse per i transistori potrebbe far credere. I primi componenti elettrici e semiconduttori sono anteriori alla comparsa del tubo elettronico e della stessa radio. Poche date basteranno ad indicare le principali tappe dello sviluppo dei semiconduttori.

— 1834: M. FARADAY studia il comportamento di alcune sostanze (i semiconduttori) che conducono l'elettricità in modo inconsueto.

— 1870: BRAUN e SCHUSTER scoprono l'effetto rettificante delle punte metalliche a contatto con cristalli di solfuri metallici; proseguendo questi studi BRANLY scopre l'effetto rettificante nel rame ossidato.

— 1876: costruzione della prima fotocellula al selenio.

— 1879: HALL scopre l'azione esercitata dai campi magnetici sulla distribuzione della corrente nei semiconduttori e nei metalli.

— 1886: WINKLER scopre il germanio.

— 1889: costruzione dei rettificatori al solfuro di piombo (galena).

— 1920: costruzione dei primi raddrizzatori al selenio.

— 1925: costruzione dei primi raddrizzatori ad ossido di rame.

— 1938: costruzione dei primi rivelatori a cristallo di silicio.

— 1940: costruzione dei primi termistori (resistori il cui valore diminuisce all'aumentare della temperatura).

— 1941: costruzione dei primi diodi al germanio.

— 1946: costruzione della prima fotocellula al silicio.

— 1948: J. BARDEEN e W. H. BRATTAIN costruiscono il primo transistor a punte.

— 1951: appare il transistor a giunzione studiato teoricamente da W. SHOCKLEY.

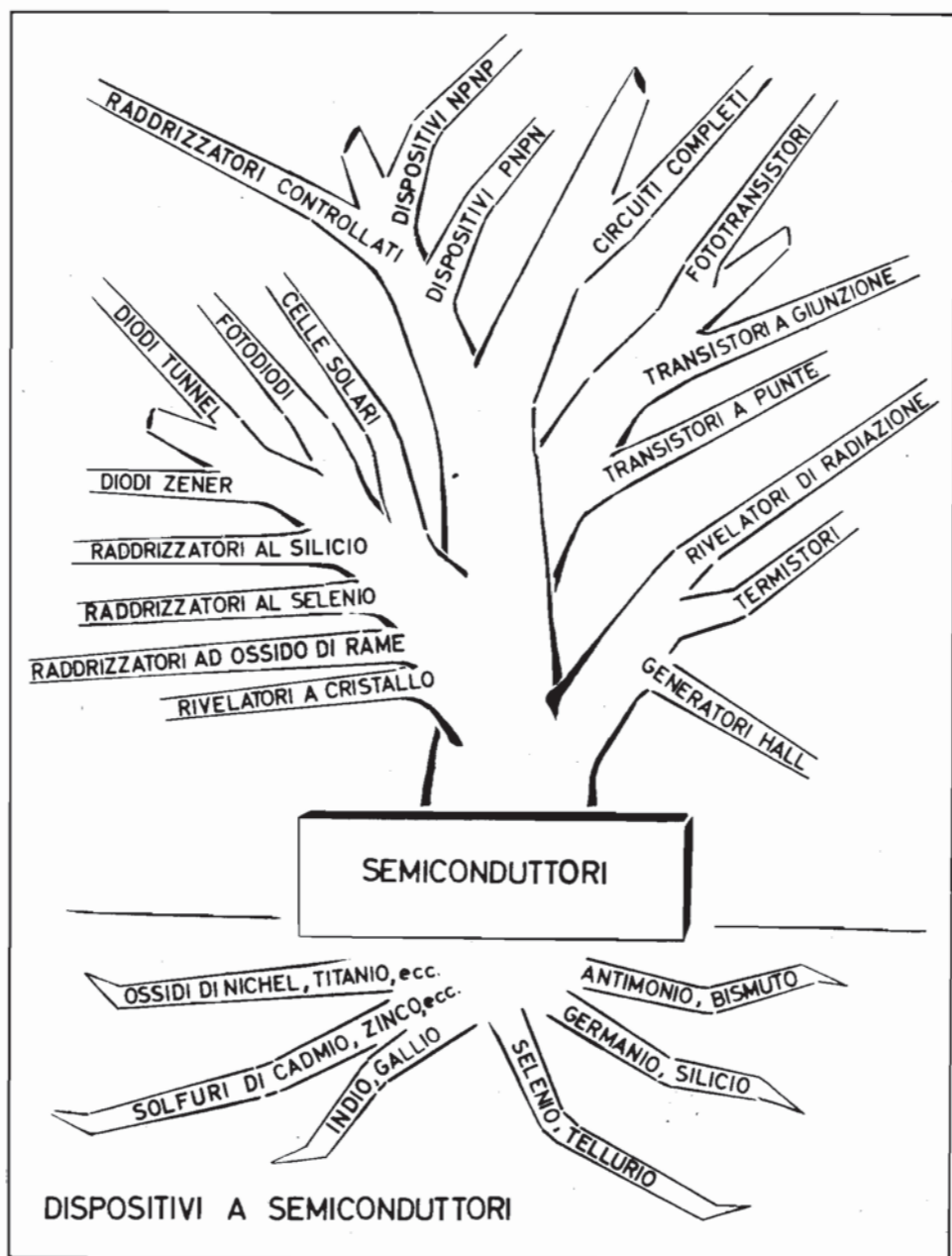


Fig. 4.

- 1952: costruzione del tetrodo a semiconduttori.
- 1955: transistori al silicio.
- 1956: transistori a diffusione.
- 1957: diodi tunnel.
- 1958: circuiti completi ottenuti per diffusione in un unico blocchetto di materiale semiconduttore.
- 1960-1961: perfezionamenti nella tecnica della diffusione (transistori planari, epitassiali, ecc.).

In questi ultimi anni si sono affinate le tecniche già esistenti e si è notevolmente estesa l'applicazione dei semiconduttori in tutti i settori della radiotecnica.

Nella *fig. 4* è rappresentata simbolicamente la famiglia dei dispositivi a semiconduttori e delle sostanze fondamentali usate nella loro fabbricazione. Naturalmente in queste lezioni non ci occuperemo di tutti i dispositivi indicati nella figura, anche perché alcuni di essi sono usati soltanto in apparecchi speciali che non offrono interesse per il radiotecnico.

Prima di occuparci del principale dispositivo a semiconduttori, ossia il transistor, studieremo il dispositivo più semplice, cioè il **DIODO A CRISTALLO**.

3. - IL DIODO A CRISTALLO

Fra i primi dispositivi a semiconduttori troviamo il rettificatore a galena, il cui impiego ebbe notevole diffusione quale rivelatore agli esordi della radio.

Il rivelatore a galena era costituito essenzialmente da un agglomerato di cristalli di solfuro di piombo e da una punta metallica.

Manovrando la punta con un'impugnatura isolante bisognava cercare di stabilire un contatto sulla superficie del cristallo. Il contatto fra punta e cristallo in genere era provvisorio e precario, ma nel tempo in cui veniva mantenuto si comportava come un diodo elettronico (*Teorica 14'*): cioè manifestava la *proprietà di lasciar passare la corrente soltanto in un senso e non nel senso opposto*.

Il rivelatore a galena è ormai caduto completamente in disuso, sostituito prima dal diodo elettronico e poi dal DIODO A CRISTALLO DI SILICIO (1938) e dal DIODO A CRISTALLO DI GERMANIO (1941).

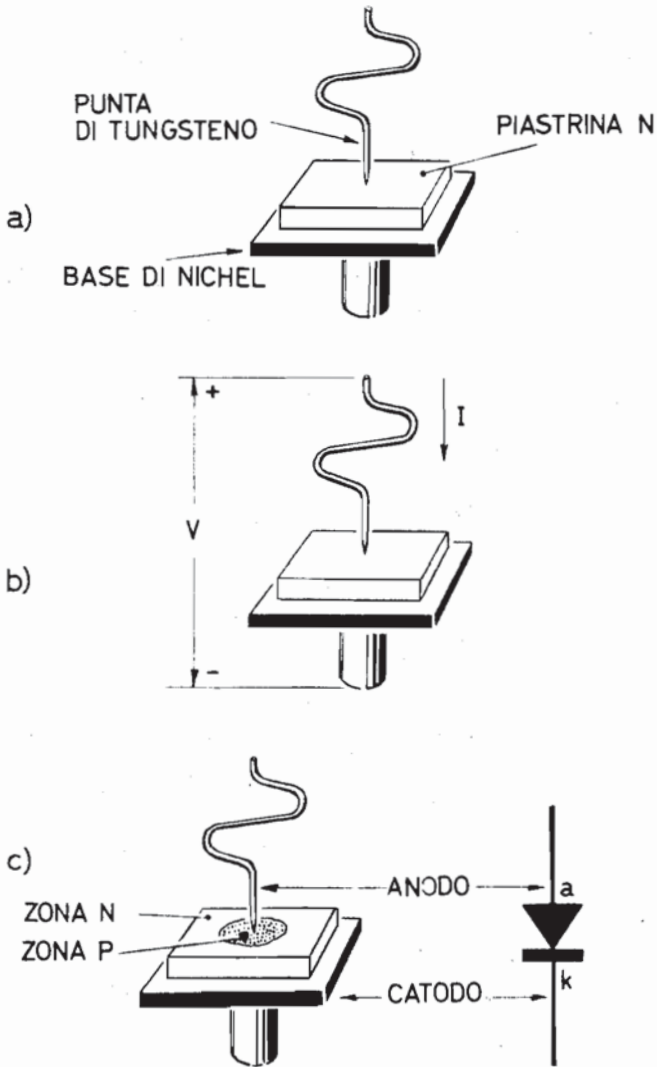
Nella prossima lezione studieremo il principio di funzionamento fisico dei diodi a cristallo; per il momento ci limitiamo a vedere come si formino i diodi di questa specie, noti con il nome di DIODI A PUNTA.

Il diodo a punta è costituito essenzialmente da una piastrina di semiconduttore N (germanio o silicio) tenuta a stretto contatto fra una base di nichel ed una punta metallica di tungsteno od altro metallo appropriato (*fig. 5-a*). Il diodo deve essere formato applicando una certa tensione continua (V) fra la punta e la base di nichel in modo che circoli per un po' di tempo una corrente (I) nel verso che va dalla punta al semiconduttore (*fig. 5-b*). Con il passaggio della corrente si ha una diffusione di atomi metallici nella zona del semiconduttore a contatto con la punta, e si ha come risultato finale la formazione di una ZONA P nella piastrina N (*fig. 5-c*).

La zona P, che corrisponde al lato della punta, è detta ANODO (a), perché ad essa va applicata la tensione positiva come all'anodo del diodo elettronico; analogamente la zona N, costituita dal resto della piastrina e posta a contatto con la base di nichel, è detta CATODO (k), ricordando il catodo del diodo elettronico.

Nella *fig. 5-c*, a fianco del diodo, è riportato il segno grafico normalmente usato negli schemi elettrici per rappresentare i diodi a cristallo.

Ora sospendiamo lo studio teorico per iniziare le esercitazioni pratiche con un diodo al germanio; riprenderemo la rassegna delle principali nozioni teoriche sui diodi nella prossima lezione.



FORMAZIONE DEL DIODO A PUNTA

Fig. 5

4. - ESERCITAZIONI PRATICHE

PRIMA ESERCITAZIONE. Misura della resistenza diretta ed inversa di un diodo a cristallo.

Il diodo a cristallo si comporta come un buon conduttore quando la corrente va dall'anodo al catodo, e come un cattivo conduttore nel senso inverso.

Questa proprietà fondamentale si può mettere in risalto facilmente misurando con l'ohmmetro la resistenza del diodo al germanio che ha ricevuto con la 9° Serie di Materiali (OA81 o tipo equivalente). La resistenza dovrà risultare *bassa* quando si applica il puntale rosso dell'ohmmetro sul lato del catodo e quello nero sul lato dell'anodo, come indicato nella *fig. 6*; dovrà invece risultare *elevata* quando si applica il puntale nero sul lato del catodo e quello rosso sul lato dell'anodo, come indicato nella *fig. 7*.

Il valore basso di resistenza è detto RESISTENZA DIRETTA; quello alto è detto RESISTENZA INVERSA.

La resistenza diretta dei diodi al germanio a punta in genere è compresa fra qualche centinaio di ohm e circa 2 k Ω ; la resistenza inversa è invece compresa fra qualche centinaio di chiloohm e circa 2 M Ω .

In queste misure è necessario usare l'ohmmetro sulla portata più alta, dove la corrente è meno intensa, per evitare di danneggiare il diodo.

SECONDA ESERCITAZIONE. Montaggio del raddrizzatore a valore medio ed a valore di cresta.

Il diodo a cristallo può funzionare come raddrizzatore di corrente alternata nei vari circuiti già esaminati studiando le applicazioni del diodo elettronico (*Teorica 15°; Teorica 35°*). In particolare si usa spesso come raddrizzatore nei circuiti d'alimentazione il diodo al silicio, e come rivelatore per modulazione d'ampiezza e di frequenza il diodo al germanio. In questa esercitazione useremo però il diodo al germanio come

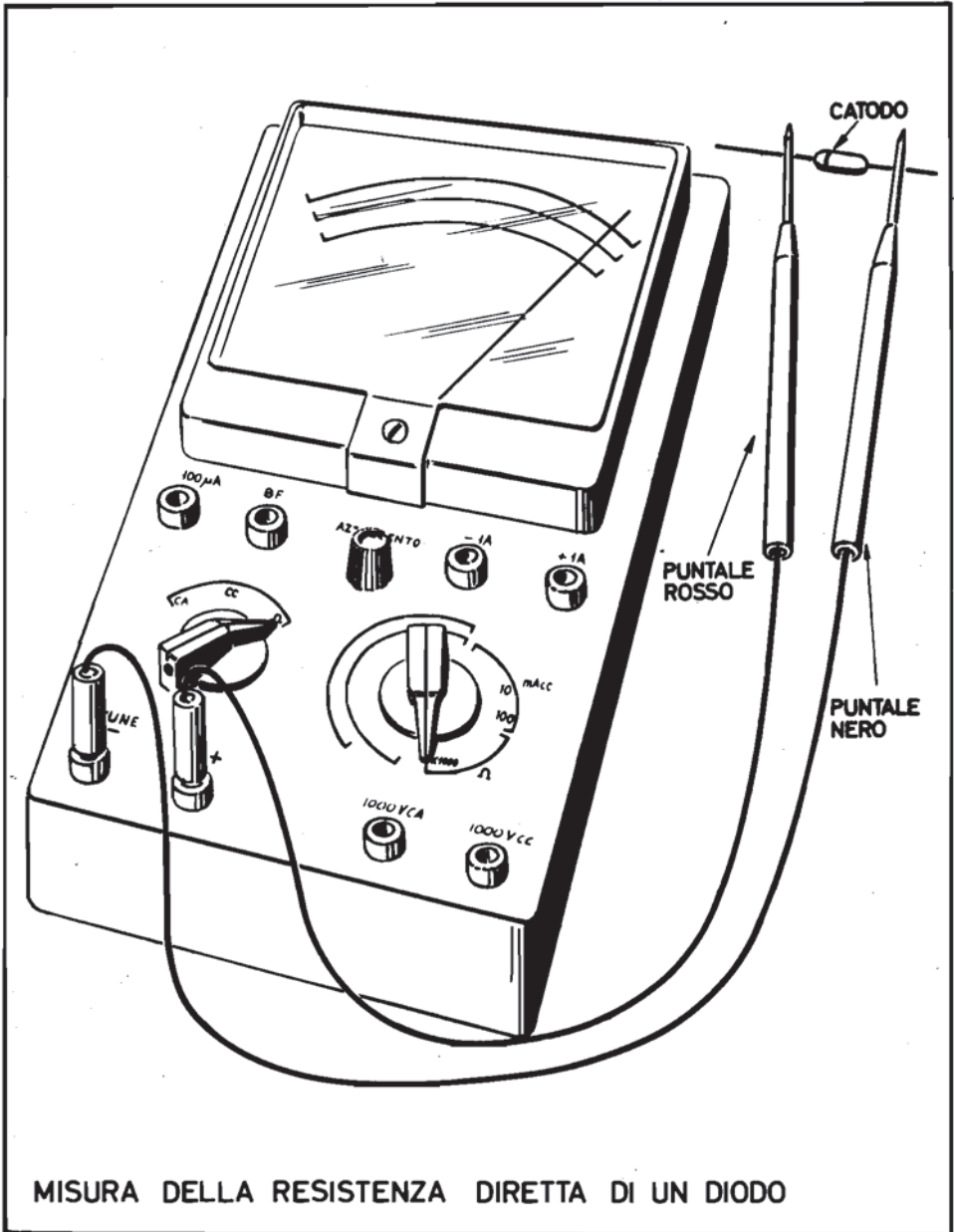
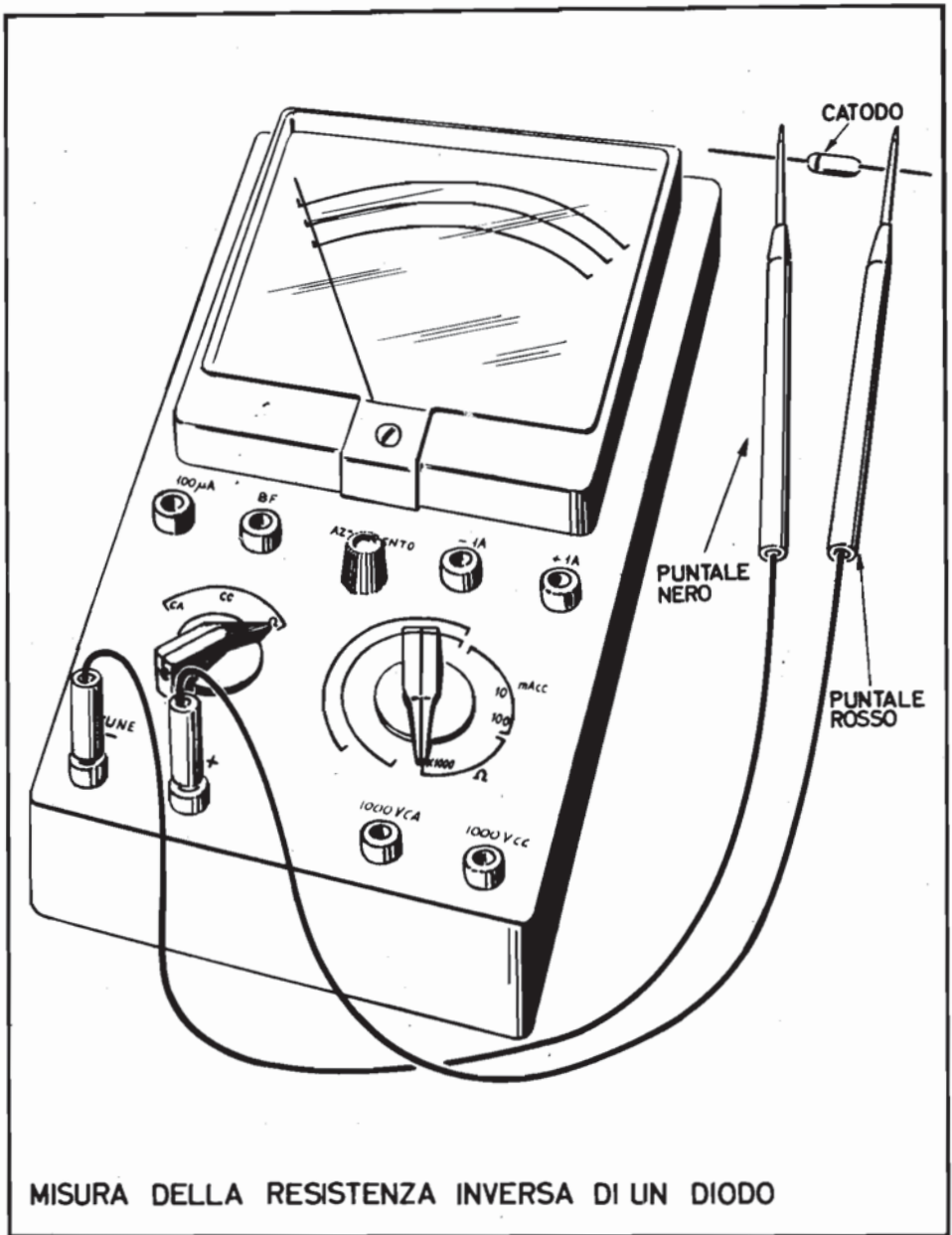


Fig. 6



MISURA DELLA RESISTENZA INVERSA DI UN DIODO

Fig. 7

raddrizzatore a semionda per ottenere da una tensione alternata di 6,3 V (circa) una tensione raddrizzata pulsante oppure una tensione raddrizzata continua.

Prima realizzeremo il circuito della *fig. 8-a*. Si tratta di un semplicissimo circuito raddrizzatore che si chiude attraverso lo strumento (V) usato per misurare la tensione pulsante raddrizzata. Come strumento useremo il tester in portata voltmetrica per corrente continua, e la misura che otterremo indicherà il valore medio della tensione pulsante raddrizzata; perciò il circuito viene detto RADDRIZZATORE A VALORE MEDIO.

In seguito realizzeremo il circuito della *fig. 8-b*. La semplice aggiunta del condensatore C39 in parallelo al voltmetro trasformerà il raddrizzatore a valor medio in un RADDRIZZATORE A VALORE DI CRESTA: infatti il condensatore si carica al valor massimo della tensione d'entrata e si mantiene pressappoco a quel valore poiché non fa in tempo

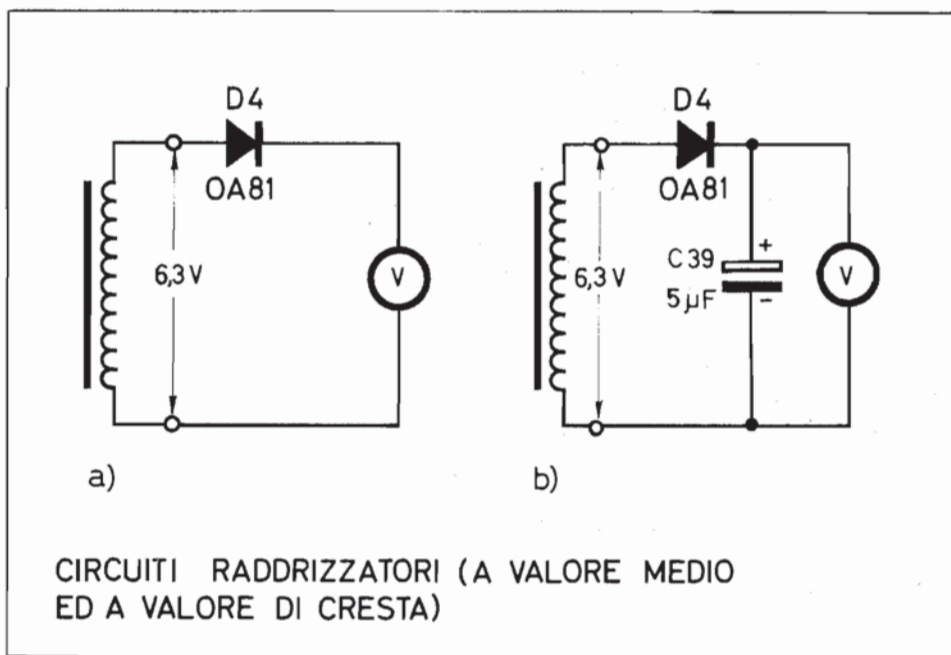


Fig. 8

a scaricarsi attraverso lo strumento durante il ciclo della tensione alternata.

Al termine dell'esercitazione Lei potrà notare che la tensione misurata nel secondo caso è circa 3,14 volte la tensione misurata nel primo caso.

I circuiti saranno montati sulla basetta A a 34 capicorda, ricevuta con la 1ª Serie di Materiali, sulla quale sono ancora sistemate due boccole isolate: una rossa e l'altra nera.

Prima di iniziare il montaggio asporti dalla basetta tutti i collegamenti rimasti fra i capicorda e liberi dallo stagno gli occhielli e le linguette.

Orienti il capocorda della boccola nera della basetta in modo che sia rivolto verso il capocorda CA13 come indicato nella *fig. 9*.

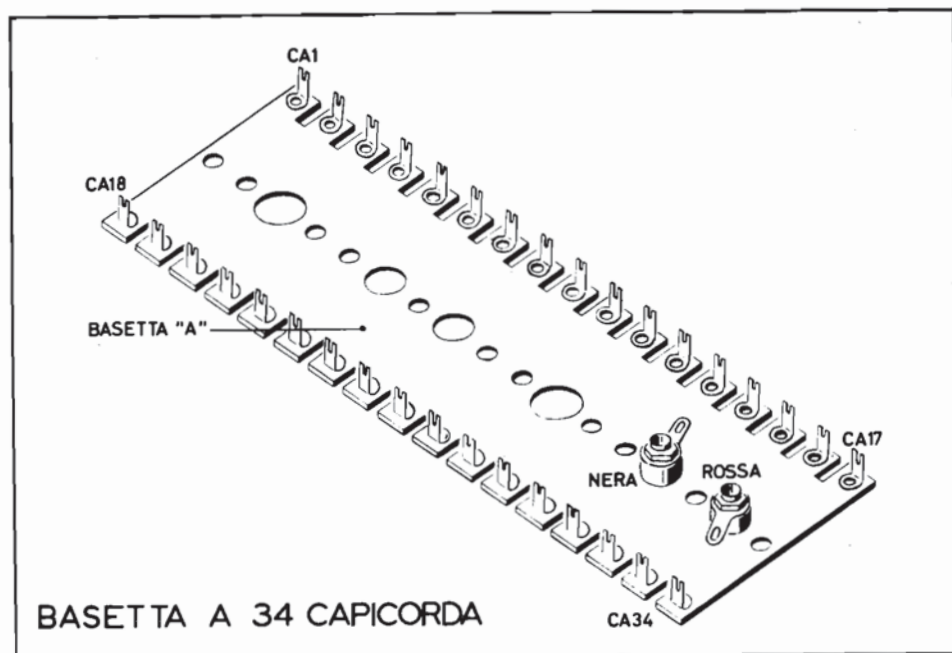


Fig. 9

Inizi quindi le operazioni di montaggio, che devono svolgersi nel seguente ordine.

a) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 5 cm e lo disponga, ben aderente alla basetta, tra gli occhielli dei capocorda CA13 e CA17; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA17.

b) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 2 cm e lo disponga fra l'occhiello del capocorda CA13 ed il capocorda della boccola nera; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando in tal modo anche il filo isolato nero posto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA13.

c) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 4,5 cm e lo disponga, ben aderente alla basetta, fra l'occhiello del capocorda CA30 ed il capocorda della boccola rossa; esegua la saldatura solamente sulla boccola rossa.

d) Disponga i terminali del diodo al germanio D4 (OA81 od equivalenti) tra gli occhielli dei capicorda CA30 e CA34, con il terminale contrassegnato (corrispondente al catodo) rivolto verso l'occhiello del capocorda CA30; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il filo isolato rosso posto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA30. E' opportuno durante l'esecuzione della saldatura tenere i terminali del diodo con le pinze, come già suggerito in precedenza ed indicato nella *fig. 12 della Pratica 11°*, in modo da disperdere il calore del saldatore ed evitare il pericolo di danneggiare il componente.

e) Tagli, infine, due spezzoni di filo trecciola, uno nero e l'altro verde, lunghi ciascuno 25 cm e li attorcigli tra loro formando una treccia.

f) Saldi un estremo del filo trecciola nero sulla linguetta del capocorda CA17.

g) Saldi un estremo del filo trecciola verde sulla linguetta del capocorda CA34.

Ha così terminato il montaggio del circuito; i collegamenti effettuati sono rappresentati nella *fig 10*.

Per eseguire l'esercitazione deve applicare al circuito realizzato la tensione alternata di 6,3 V, che sarà prelevata dall'avvolgimento secon-

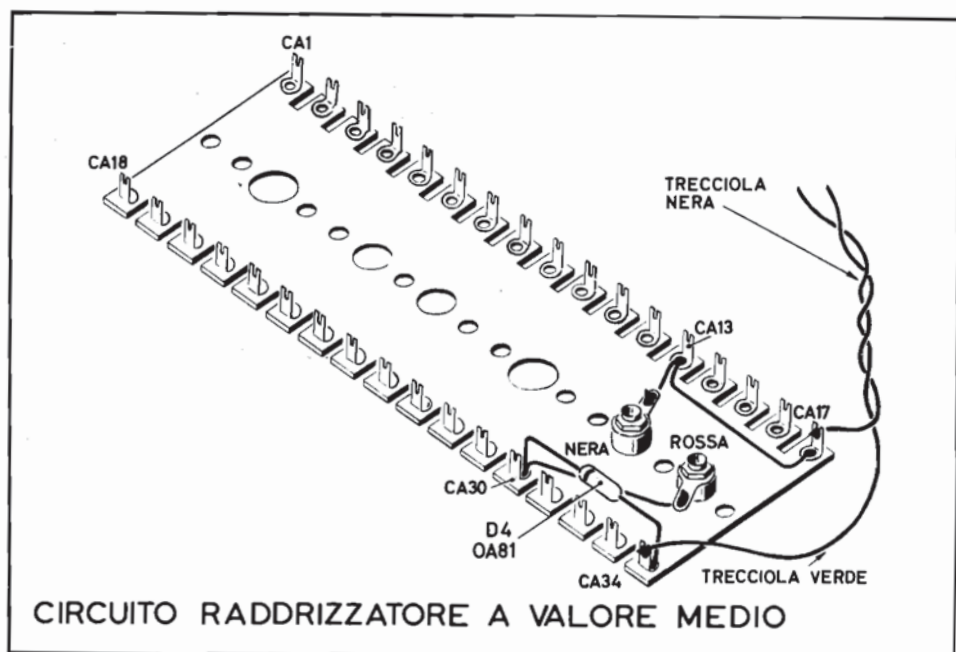


Fig. 10

dario BT del trasformatore di alimentazione montato sul telaio B, e collegare l'analizzatore alle due bocche della basetta A.

Disponga quindi il telaio B vicino alla basetta A.

Deve ora saldare la treccia proveniente dalla basetta ai piedini 4 e 5 dello zoccolo portatubo Z4 del telaio B, fra i quali è appunto presente la tensione di 6,3 V.

h) Saldi l'estremo libero del filo treccia verde sul P4Z4.

i) Saldi l'estremo libero del filo treccia nero sul P5Z4.

Durante queste operazioni faccia attenzione di non dissaldare i fili treccia nero e verde già collegati agli stessi piedini dello zoccolo portatubo Z4.

Tutto è ormai pronto per eseguire le misure previste dall'esercitazione.

Dia tensione al trasformatore montato sul telaio **B**. Disponga l'analizzatore per la misura della tensione alternata con la portata di 10 V f.s. e misuri che tra i capicorda CA17 e CA34 della basetta A vi sia una tensione compresa fra 5 V CA e 7 V CA.

Dopo di ciò disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V f.s. ed innesti il puntale rosso nella boccola rossa della basetta A ed il puntale nero nella boccola nera, come illustrato nello schema pratico della *fig. 11*: il voltmetro deve indicare una tensione compresa fra 2 V CC e 3 V CC circa.

Lo schema elettrico del rettificatore a valore medio, ora realizzato, è rappresentato nella *fig. 8-a*.

Eseguite le misure disinserisca dalla rete l'avvolgimento primario del trasformatore agendo sull'interruttore del telaio **B**.

Per realizzare il circuito rettificatore a valore di cresta è sufficiente collegare all'uscita del raddrizzatore un condensatore di valore opportuno.

Disponga, quindi, il condensatore elettrolitico C39 da 5 μ F - 50 V tra le linguette dei capicorda CA13 e CA30 della basetta A, con il lato positivo rivolto verso il capocorda CA30; esegua la saldatura su entrambi i punti.

Il nuovo componente deve risultare collegato tra i capicorda della basetta come indicato nella *fig. 12*; lo schema elettrico del circuito rettificatore a valore di cresta è rappresentato nella *fig. 8-b*.

Mantenendo i due puntali innestati nelle boccole rossa e nera della basetta, disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 30 V f.s.

Dia nuovamente tensione al trasformatore montato sul telaio **B**: lo strumento deve indicare una tensione compresa fra 6,3 V e 9,5 V circa, cioè praticamente 3,14 volte di più che nelle misure precedenti.

Conclusa l'esercitazione disinserisca dalla rete l'avvolgimento primario del trasformatore agendo sull'interruttore del telaio **B**.

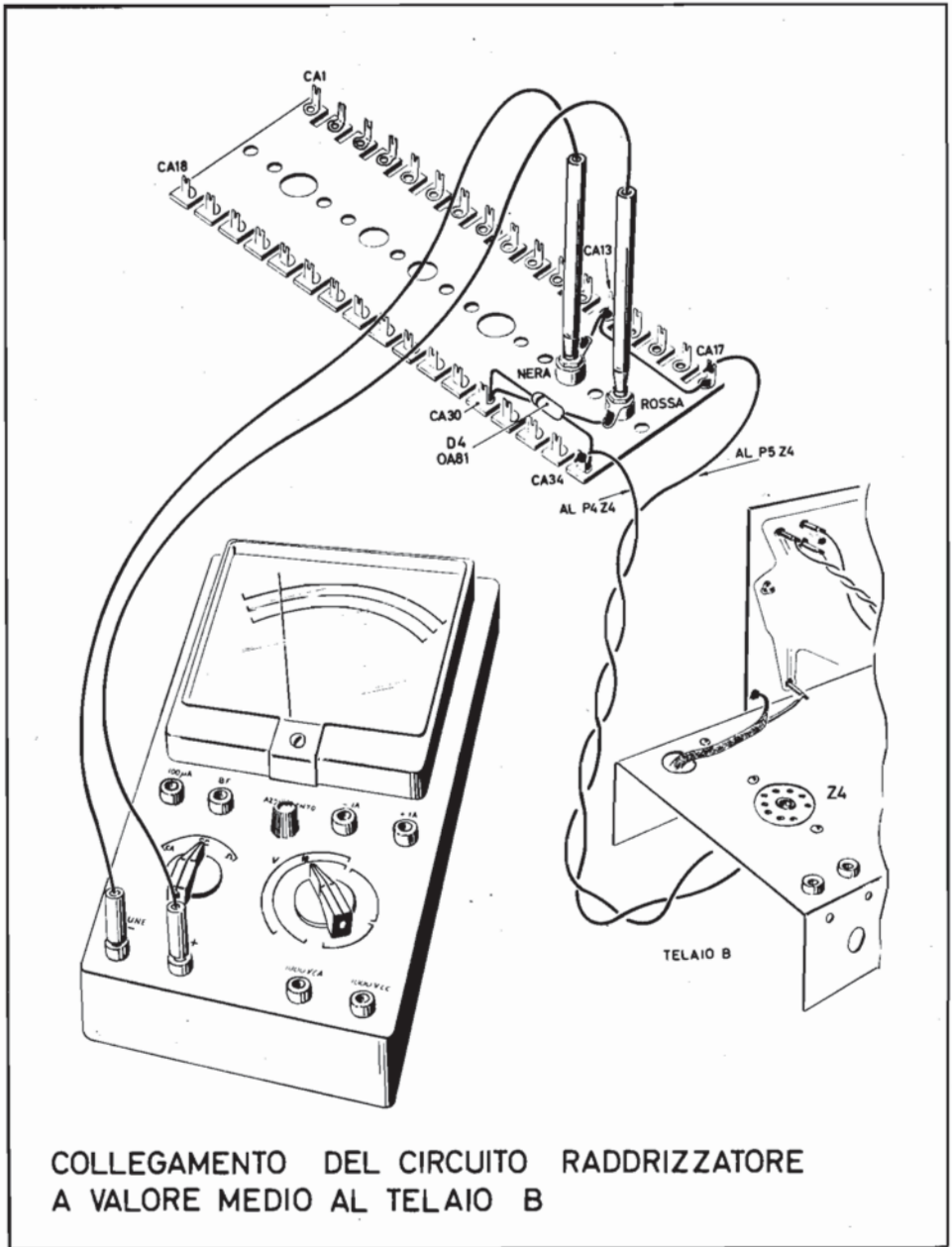


Fig. 11

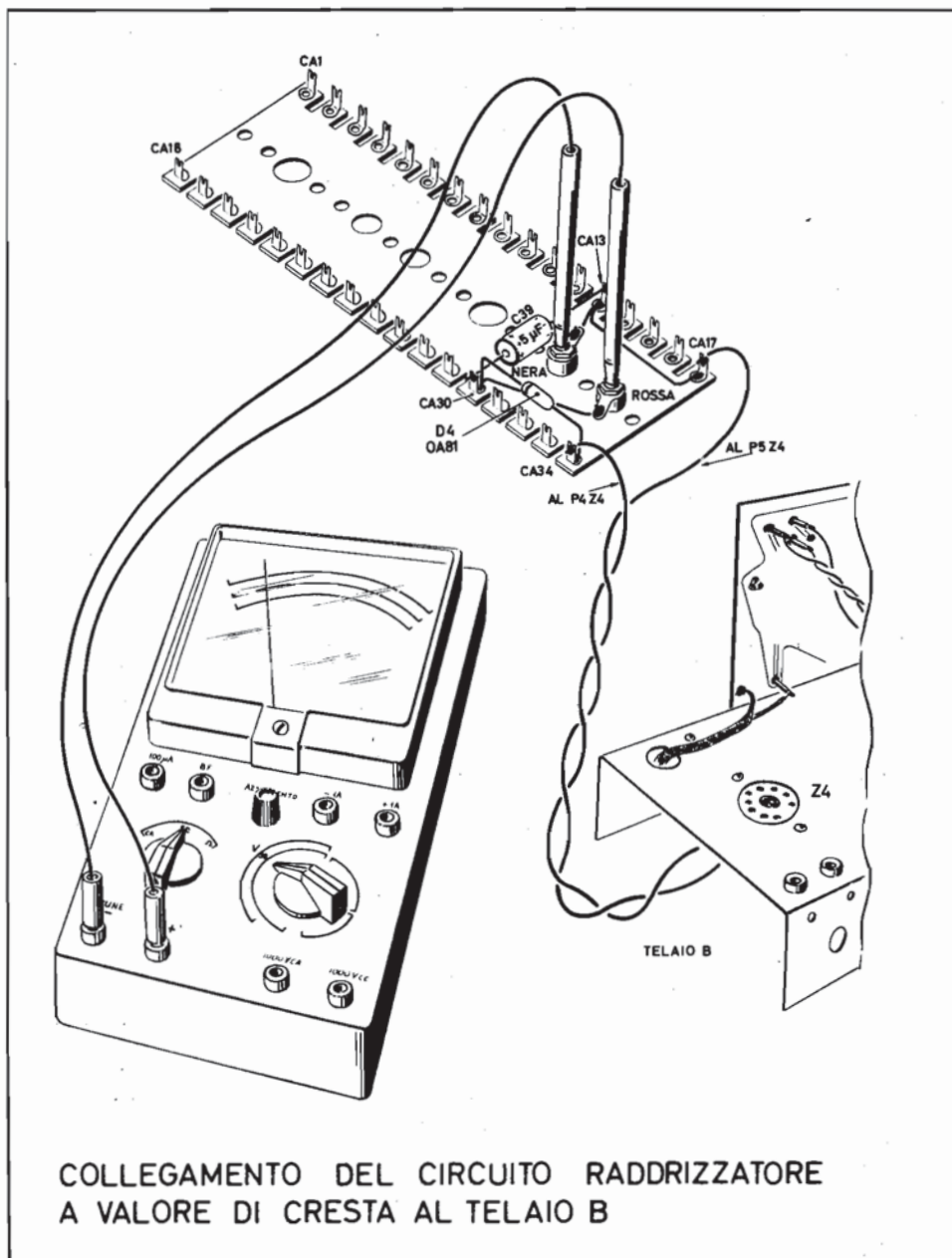


Fig. 12

Disinnesti i puntali dell'analizzatore dalle boccole rossa e nera della basetta A e dissaldi i fili trecciola verde e nero, provenienti dalla basetta stessa, dai piedini 4 e 5 dello zoccolo portatubo Z4 del telaio B.

Nella prossima lezione vedremo come si possa utilizzare il diodo al germanio in modo più appropriato, cioè come rivelatore.



ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 2'

1. - Quali sono i semiconduttori intrinseci?
 2. - Quali sono i semiconduttori di tipo N?
 3. - Quali sono i semiconduttori di tipo P?
 4. - I transistori sono i soli dispositivi a semiconduttori?
 5. - Quanti valori di resistenza si possono misurare fra i due terminali di un diodo a cristallo?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 1'

1. - Nello strato esterno degli atomi del carbonio, del germanio e del silicio si trovano quattro elettroni.
 2. - Fra gli atomi dei cristalli del diamante, del germanio e del silicio esistono legami covalenti.
 3. - I semiconduttori sono sostanze che hanno conduttività intermedia fra quella dei metalli e quella degli isolanti.
 4. - Sono elettroni di valenza quegli elettroni che, pur spostandosi da un atomo all'altro, restano sempre legati agli spazi del reticolo cristallino.
 5. - Si dice « buco » il posto vuoto che si crea nel cristallo quando si rompe un legame covalente; il buco è costituito essenzialmente da una carica elettrica positiva.
-

(38)

1. - LA GIUNZIONE P-N

Le proprietà del diodo a cristallo studiate nella lezione precedente dipendono da alcuni processi che avvengono nei punti di contatto fra la zona P e la zona N del semiconduttore.

Abbiamo già visto che i cristalli di tipo P contengono buchi quali portatori di maggioranza, e che i cristalli di tipo N contengono elettroni liberi quali portatori di maggioranza; inoltre abbiamo anche stabilito che a causa dell'agitazione termica i buchi e gli elettroni liberi debbono essere raffigurati in continuo movimento nello spazio del reticolo. Ora studieremo il comportamento dei portatori di maggioranza quando si formi una GIUNZIONE fra due semiconduttori di tipo diverso, cioè fra un cristallo P ed un cristallo N (*fig. 1-a*).

In genere la giunzione viene stabilita formando con metodi appropriati una zona P in un monocristallo N, o viceversa una zona N in un monocristallo P; non accade mai invece che due cristalli di tipo diverso vengano uniti per formare una giunzione P-N.

Tuttavia, per meglio comprendere i nuovi fenomeni che stiamo per esaminare, immaginiamo di poter eseguire una perfetta giunzione congiungendo semplicemente due cristalli inizialmente separati fra loro.

Fatta la giunzione, una parte degli elettroni liberi del cristallo N sotto la spinta dell'agitazione termica incomincerà a diffondersi nel cristallo P; nello stesso tempo, sempre sotto la spinta dell'agitazione termica, una parte dei buchi del cristallo P incomincerà a diffondersi nel cristallo N. All'inizio la diffusione degli elettroni e dei buchi procederà con una certa regolarità nei due sensi opposti; se mantenesse quello stesso ritmo per un tempo sufficientemente lungo, si raggiungerebbe uno stato finale nel quale gli elettroni liberi ed i buchi sarebbero distribuiti uniformemente nei due cristalli.

In realtà la diffusione si arresta molto prima di occupare interamente i due cristalli, e così intorno alla superficie di giunzione si forma soltanto una zona relativamente sottile in cui sono mescolati in eguali

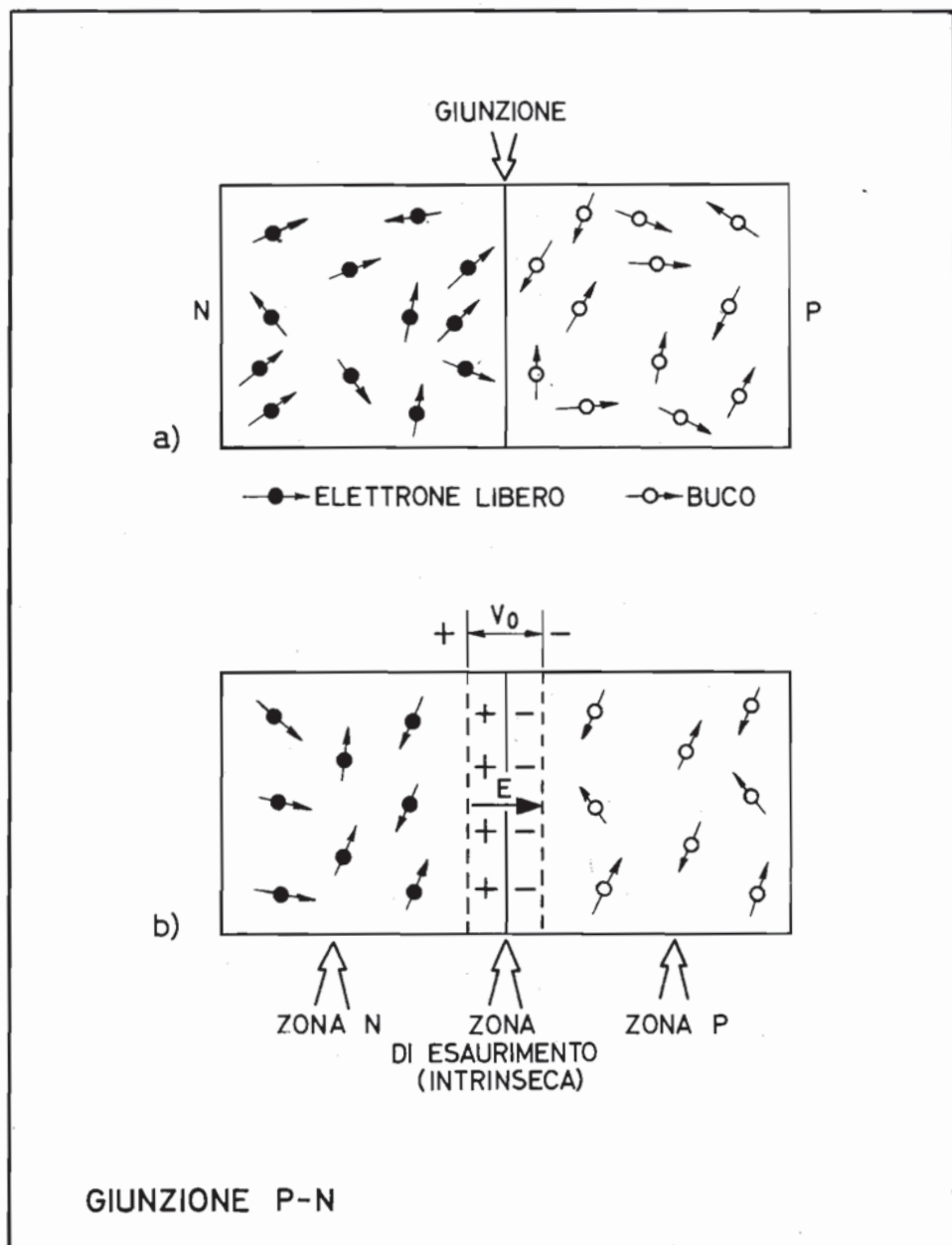


Fig. 1

quantità elettroni liberi e buchi. Nello stato finale così raggiunto si hanno dunque tre zone distinte: *una zona N*, costituita dalla parte del cristallo N non occupata dai buchi provenienti dal cristallo P; *una zona P*, costituita dalla parte del cristallo P non occupata dagli elettroni liberi provenienti dal cristallo N; ed infine, ai lati della superficie di giunzione, *la nuova zona che si può dire « intrinseca »*, se si considera che in essa il numero degli elettroni liberi è uguale a quello dei buchi (*fig. 1-b*).

La nuova zona non è però da considerarsi rigorosamente intrinseca. Infatti la distribuzione delle cariche libere non è uniforme, come in genere avviene nei semiconduttori intrinseci. Perciò talvolta nelle pubblicazioni tecniche si preferisce usare la denominazione inglese DEPLETION REGION (si pronuncia *diplichion rígen*), che si può tradurre con ZONA DI ESAURIMENTO, ricordando così che nella zona di cui si parla si esaurisce la spinta di diffusione delle cariche libere provenienti dai due cristalli congiunti.

Finora, studiando i processi che si producono subito dopo la formazione della giunzione P-N, ci siamo limitati ad osservare gli spostamenti degli elettroni liberi e dei buchi, senza tenere conto dei reticoli cristallini in cui avviene la diffusione delle cariche. In realtà i due reticoli cristallini esercitano una grande influenza sull'andamento del processo di diffusione; anzi, proprio dalle caratteristiche elettriche dei reticoli nasce il maggiore ostacolo al completamento della diffusione delle cariche nei due cristalli.

Quando gli elettroni uscendo dal cristallo N entrano nel reticolo del cristallo P, ed i buchi uscendo dal cristallo P si propagano nel reticolo del cristallo N, sulle estremità affacciate dei due reticoli si producono due nuovi stati elettrici: da una parte, sull'estremità del cristallo N, si forma un accumulo di elettricità positiva, dovuto alla perdita di elettroni ed all'acquisto di buchi; dall'altra parte, sull'estremità del cristallo P, si ha un accumulo di elettricità negativa, dovuto alla perdita di buchi ed all'acquisto di elettroni.

La separazione delle cariche di segno opposto produce un campo elettrico (E) orientato dall'estremità positiva del cristallo N all'estremità negativa del cristallo P (*fig. 1-b*). Questo campo elettrico agisce in modo da contrastare la diffusione delle cariche attraverso la giunzione, in quanto tende a richiamare i buchi dal cristallo N al cristallo P e gli elettroni dal cristallo P al cristallo N.

A mano a mano che aumenta l'intensità del campo E , con il procedere della diffusione delle cariche, aumenta anche di conseguenza la forza di richiamo delle stesse cariche; così la spinta della diffusione si troverà sempre più contrastata, finché, raggiunto l'equilibrio tra le forze opposte, cesserà ogni ulteriore diffusione delle cariche nei due cristalli.

Con l'equilibrio tra la forza del campo elettrico e la spinta di diffusione si determina anche la separazione fra una certa quantità di cariche positive e negative sui due lati della zona di esaurimento; di conseguenza, si mantiene costante ai lati della stessa zona di esaurimento una certa differenza di potenziale (V_0 della *fig. 1-b*), detto correntemente, ma in modo improprio, POTENZIALE DI CONTATTO od anche POTENZIALE DI DIFFUSIONE.

Nel seguito di queste lezioni si userà per indicare la medesima differenza di potenziale V_0 la denominazione BARRIERA DI POTENZIALE, che è più generica, ma più corretta, e ricorda l'ostacolo che il campo elettrico rappresenta per l'ulteriore diffusione delle cariche elettriche da un cristallo all'altro.

Dalla barriera di potenziale V_0 che si forma nella giunzione P-N dipendono tutte le proprietà del diodo a cristallo studiate nella lezione precedente.

Vediamo ora che cosa significhi *misurare la resistenza inversa di un diodo*, cioè cerchiamo di stabilire quali nuovi fenomeni avvengano nella giunzione P-N durante tale misura (*Transistori 2°, prima esercitazione pratica*).

Quando con l'ohmmetro si misura la resistenza di un diodo, si applica la tensione continua dell'ohmmetro ai terminali dello stesso diodo. In particolare: *misurando la resistenza inversa si applica il lato positivo della tensione d'alimentazione dell'ohmmetro alla zona N del cristallo, ed il lato negativo alla zona P del medesimo cristallo.*

Nella *fig. 2* è rappresentato il circuito formato dall'ohmmetro e dal diodo durante la misura della resistenza inversa, ma per maggiore semplicità al posto dell'ohmmetro è stata riportata soltanto la sua batteria interna (V_i).

Nell'istante in cui si chiude il circuito parte degli elettroni liberi si stacca dalla zona N del cristallo e va verso il polo positivo della

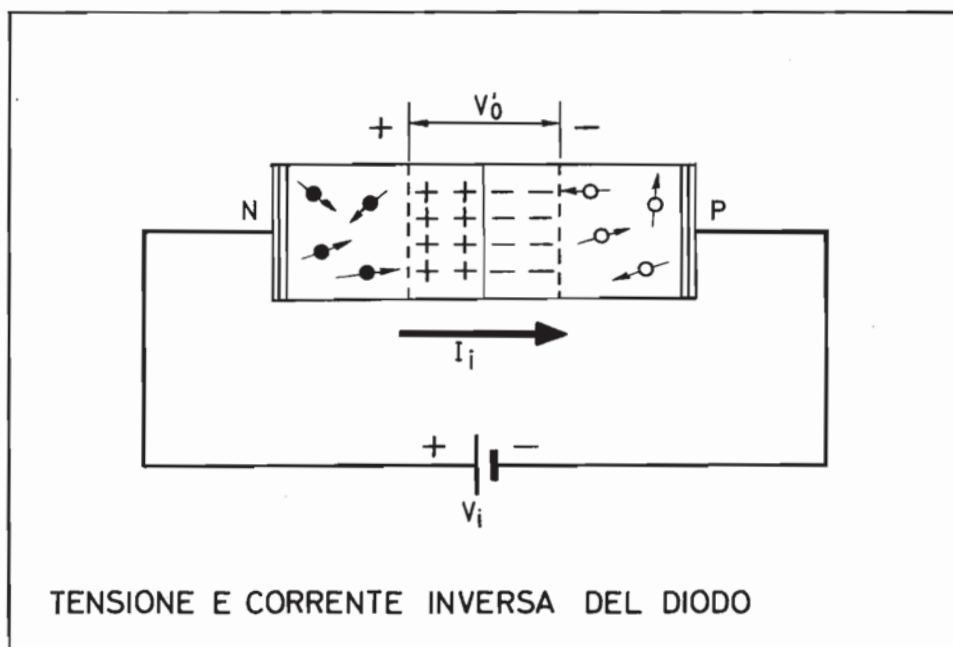


Fig. 2

batteria d'alimentazione; nello stesso tempo altri elettroni emessi dal polo negativo della batteria raggiungono la zona P del cristallo, dove fanno scomparire una parte dei buchi.

Se ora trascuriamo la presenza dei portatori di minoranza nelle opposte zone del cristallo, cioè ammettiamo che nella zona P non si trovino elettroni liberi che possano raggiungere la zona N per rimpiazzare quelli rifluiti verso il positivo della batteria, ed ammettiamo anche che nella zona N non si trovino buchi che possano propagarsi fino alla zona P per rimpiazzare quelli scomparsi, allora dovremo concludere che ben presto i movimenti delle cariche dal cristallo alla batteria e dalla batteria al cristallo dovranno terminare. Infatti il numero degli elettroni liberi presenti nella zona N del cristallo è certamente molto grande, ma non è illimitato, e così dicasi dei buchi presenti nel cristallo P.

Il fatto che gli elettroni ed i buchi siano in numero limitato nell'una e nell'altra zona del cristallo e l'impossibilità di rimpiazzarli ade-

guatamente quando essi si allontanano e scompaiono, potrebbe già essere sufficiente a giustificare l'annullarsi della corrente erogata dalla pila nel breve istante che segue la chiusura del circuito. In realtà però lo spostamento delle cariche, e quindi la corrente erogata dalla pila, cessa prima ancora che si produca lo svuotamento degli elettroni dalla zona N e dei buchi dalla zona P.

Per spiegare questo nuovo fatto occorre ricordare la presenza della barriera di potenziale nella giunzione.

Nelle condizioni descritte, questa barriera si rafforza rapidamente con la diminuzione degli elettroni liberi e dei buchi nelle rispettive zone, quindi aumenta la sua ampiezza passando da V_0 a V_0' (si confronti la *fig. 1-b* con la *fig. 2*).

La nuova differenza di potenziale V_0' può divenire tale da equilibrare la tensione esterna V_i ; quando ciò si verifica cessa di conseguenza il movimento delle cariche e si annulla la corrente erogata dalla pila. In genere ciò accade prima che tutti gli elettroni della zona N siano rifluiti verso il positivo della batteria e prima che tutti i buchi della zona P siano scomparsi.

La tensione V_i , applicata ai terminali del diodo come indica la *fig. 2*, è detta TENSIONE INVERSA.

In base a quanto è stato detto sopra la corrente dovrebbe annullarsi rapidamente nel diodo al quale sia stata applicata una tensione inversa; quindi la misura dell'ohmmetro dovrebbe indicare *resistenza infinita*. In pratica si è visto che la resistenza è abbastanza grande, ma non è infinita. Ciò è dovuto alla presenza dei portatori di minoranza, cioè alla presenza di buchi nella zona N del cristallo e di elettroni liberi nella zona P. Un certo numero di portatori di minoranza riesce sempre ad attraversare la giunzione; così ha luogo un parziale rimpiazzo degli elettroni liberi nella zona N e dei buchi nella zona P e viene alimentata una corrente molto debole che va dall'estremità N all'estremità P del cristallo. Questa corrente è detta CORRENTE INVERSA (I_i).

Cerchiamo ora di stabilire quali fenomeni avvengano nella giunzione P-N durante la *misura della resistenza diretta* (*Transistori 2°, prima esercitazione pratica*).

Ricordiamo che *misurando la resistenza diretta si applica il lato positivo della tensione d'alimentazione dell'ohmmetro alla zona P del cristallo ed il lato negativo alla zona N del medesimo cristallo.*

Nella *fig. 3-a* è rappresentato il circuito equivalente del diodo e dell'ohmmetro durante la misura della resistenza diretta; anche in questo caso al posto dell'ohmmetro è stata riportata per maggiore semplicità soltanto la pila d'alimentazione.

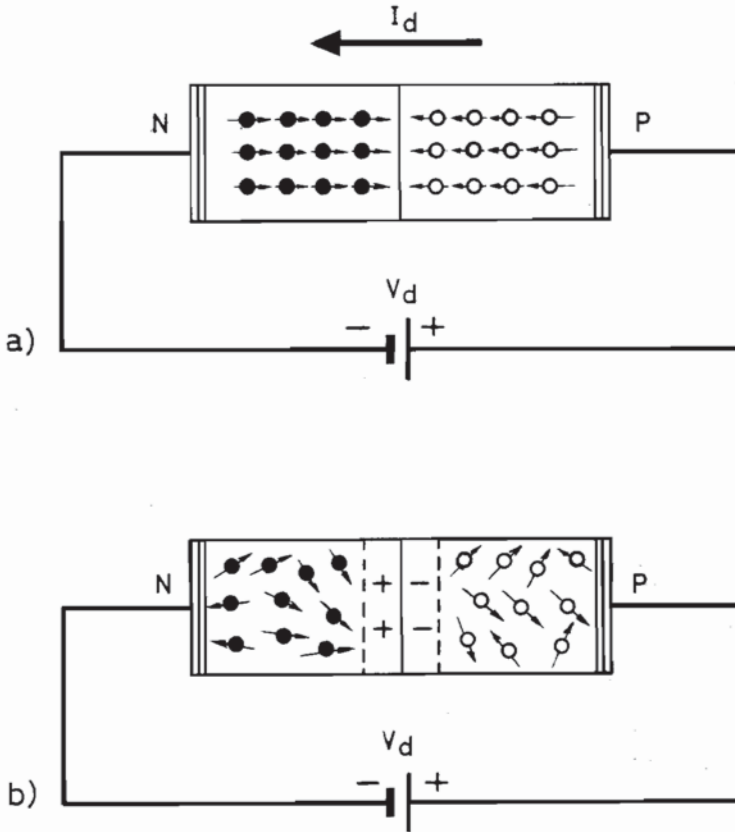
Nell'istante in cui si chiude il circuito, la forza elettromotrice della batteria mette in moto gli elettroni liberi della zona N orientando i loro spostamenti verso la giunzione, e nello stesso tempo mette in moto i buchi della zona P orientando anche i loro spostamenti verso la giunzione. Nella giunzione gli elettroni cadono nei buchi, e così scompaiono i buchi e si perdono altrettanti elettroni liberi.

Tuttavia gli elettroni liberi che cadono nei buchi vengono continuamente rimpiazzati da altri provenienti dal negativo della batteria, ed i buchi scomparsi vengono rimpiazzati da altri buchi che si formano nel lato della zona P connesso al positivo della batteria; in tal modo il flusso delle cariche si rigenera ripetutamente formando una corrente continua, come si dimostra misurando la resistenza diretta del diodo.

La corrente continua, I_d , è detta CORRENTE DIRETTA; la tensione esterna V_d , che determina la formazione della corrente I_d , è detta TENSIONE DIRETTA.

Nella *fig. 3-b* viene presentato il caso in cui la tensione continua V_d sia inferiore alla differenza di potenziale V_0 (*fig. 1-b*) che costituisce la barriera di potenziale. Osserviamo in proposito che, finché la tensione V_d è inferiore o uguale a V_0 , non si ha praticamente un passaggio di corrente; la corrente I_d raggiunge valori apprezzabili soltanto quando la tensione V_d supera il valore di V_0 .

Per ora sospendiamo lo studio della giunzione P-N per passare ad altri argomenti; nella prossima lezione riprenderemo l'esame delle caratteristiche della giunzione P-N e dei diodi a cristallo e passeremo in rassegna i vari circuiti che si possono realizzare.



TENSIONE E CORRENTE DIRETTA DEL DIODO

Fig. 3

2. - LA PREPARAZIONE DEI SEMICONDUTTORI PER USO ELETTRONICO

Il germanio ed il silicio sono i semiconduttori più largamente usati nella fabbricazione dei diodi a cristallo e dei transistori.

Il germanio si trova sotto forma di sale minerale in alcuni tipi di rocce, nel carbon fossile e nei minerali dello zinco e del cadmio.

Gran parte del germanio destinato ad usi elettronici si ricava dai sottoprodotti delle lavorazioni industriali della blenda (minerale dello zinco) e del carbon fossile. Sottoponendo ad opportuni trattamenti chimici le fuliggini del carbone e le scorie del minerale di zinco si ottiene un composto del germanio detto BISSIDO DI GERMANIO.

Il biossido così ricavato è ben lontano dal possedere la purezza richiesta; esso infatti contiene numerose tracce di elementi estranei che conviene eliminare con mezzi chimici prima di estrarre il germanio metallico.

Il biossido di germanio purificato viene posto in una navicella la quale viene fatta passare in un apposito forno, dove avviene la riduzione del biossido allo stato metallico mediante l'azione esercitata dall'idrogeno immesso nel forno (*fig. 4*).

Il germanio metallico ottenuto ha un aspetto bianco-argenteo splendente; è abbastanza puro rispetto agli altri metalli estratti con analoghi procedimenti chimici, ma non è sufficientemente puro per l'uso a cui è destinato nell'industria elettronica.

Per aumentare il grado di purezza si mette il germanio in una navicella di grafite e si fa passare lentamente la navicella in uno speciale forno tubolare illustrato schematicamente nella *fig. 5-a*.

Il forno è costituito da un lungo tubo di quarzo, sul quale si trovano diverse bobine collegate in serie e percorse da una corrente a radiofrequenza (RF) molto intensa. La corrente produce nell'interno del forno un campo magnetico variabile, particolarmente intenso sotto ciascuna bobina; quindi nel germanio che si trova sotto le bobine si formano per induzione elettromagnetica correnti elettriche tanto intense da determinare un forte riscaldamento e la rapida fusione del metallo.

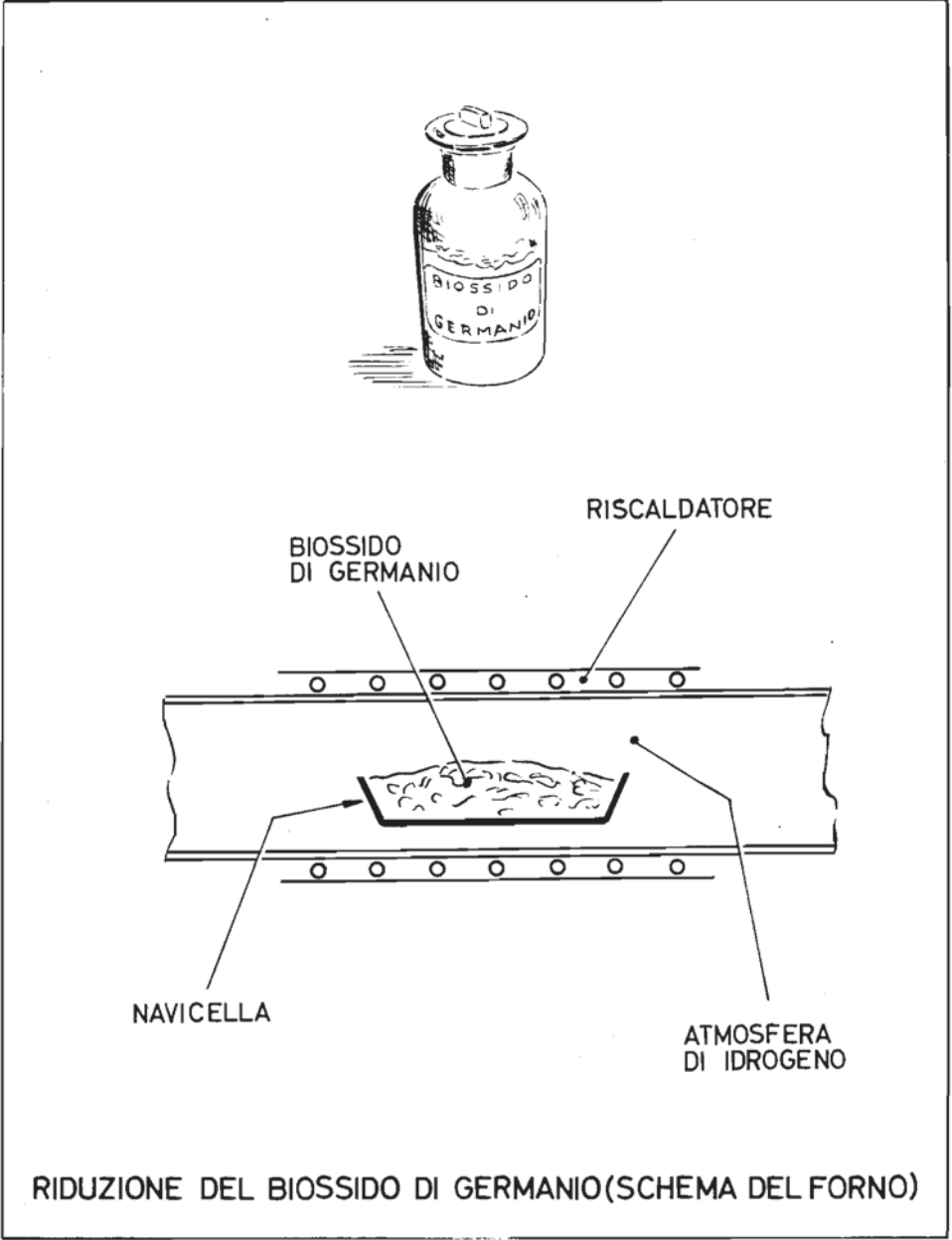


Fig. 4

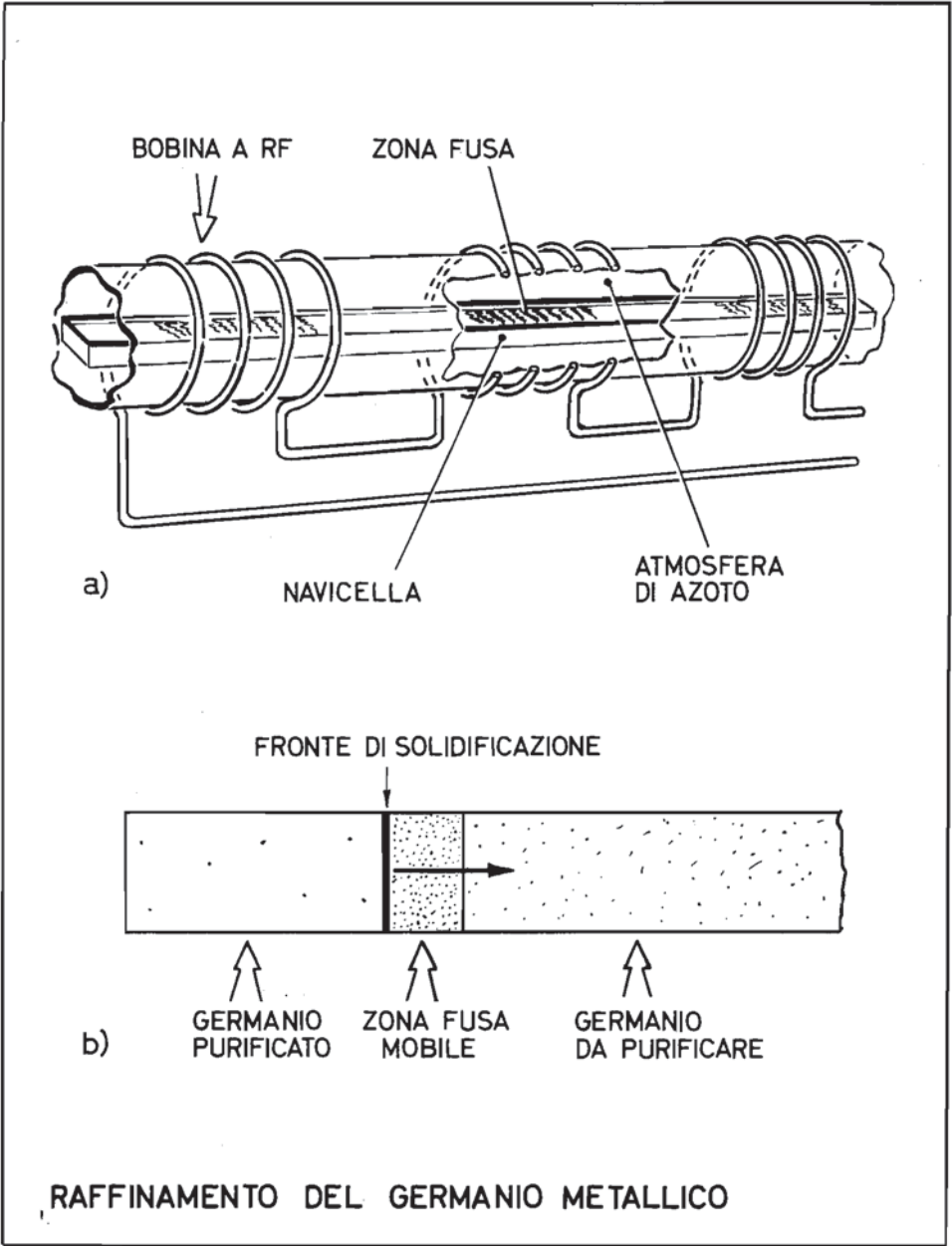


Fig. 5

La fusione del germanio resta limitata alle varie zone che si trovano sotto le bobine; così mentre la navicella viene fatta avanzare lentamente da un'estremità all'altra del forno anche le zone fuse si spostano lungo il germanio da un'estremità all'altra. Il movimento della navicella e quello delle zone fuse vanno in senso opposto.

Resta ora da vedere come si ottenga il raffinamento del germanio mediante il processo delle zone fuse mobili, cioè come si possa aumentare il grado di purezza del germanio con il sistema ora descritto.

Per maggiore semplicità considereremo l'azione svolta da una sola zona fusa che si sposti lungo una sbarretta di germanio da sinistra verso destra, come indicato nella *fig. 5-b*.

Il fronte di solidificazione che avanza da sinistra a destra, seguendo la zona fusa mobile, si può paragonare ad un filtro poroso che lasci passare il germanio e raccolga le impurità mantenendole sciolte nella zona fusa e sospingendole con essa verso l'estremità della sbarretta. Però non tutte le impurità seguono la zona fusa; una parte, che diventa via via maggiore con il procedere della zona fusa, sfugge all'azione filtrante e si distribuisce nel germanio purificato. Per ovviare a questo inconveniente si fa percorrere la sbarretta da diverse zone fuse, una dopo l'altra e distanziate come le bobine a RF del forno (*fig. 5-a*). E' intuitivo che all'azione filtrante della prima zona si aggiunge quella della seconda, della terza, e così via, ottenendo in tal modo un alto grado di purezza del germanio.

Come il germanio, anche il silicio destinato ad usi elettronici deve essere molto puro.

Normalmente il silicio viene estratto dal biossido di silicio mediante il riscaldamento della sabbia a 3.000 °C, in presenza di carbone coke. Il silicio che si ottiene con questo procedimento contiene impurità nelle percentuali del 2% - 3%, mentre per l'elettronica occorre silicio purissimo, con percentuali d'impurità minori di 0,05%.

Un certo grado di purezza si può avere trattando chimicamente il silicio di produzione normale con diversi acidi, in fasi successive; però in questi ultimi tempi si sono affermati altri procedimenti che consentono di ottenere cristalli di notevole purezza partendo dal trattamento chimico di un sale del silicio in luogo della sabbia.

Per il raffinamento fisico dei cristalli di silicio si usa una variante del metodo della zona fusa, già illustrato nella *fig. 5*.

In questo caso però il silicio da raffinare non viene posto in una navicella, poiché il materiale della navicella si scioglierebbe nel silicio fuso determinando effetti opposti a quelli che si vogliono ottenere.

La sbarretta di silicio viene messa in posizione verticale, al centro di un forno tubolare a radiofrequenza.

Lungo la parete esterna del forno è fatta scendere una spira percorsa da corrente a radiofrequenza molto intensa. In corrispondenza con la spira si forma nel silicio una zona fusa che percorre la sbarretta da un estremo all'altro, esercitando un'azione filtrante simile a quella già descritta per il germanio (*fig. 5-b*).

Il procedimento viene ripetuto più volte fino ad ottenere il grado richiesto di purezza.

3. - COLTIVAZIONE E DROGATURA DEI MONOCRISTALLI

Al termine dei processi di raffinamento il semiconduttore si presenta sotto forma di un aggregato solido, costituito da innumerevoli cristalli, molto piccoli e variamente orientati.

Il semiconduttore così formato, pur essendo purissimo, non è ancora utilizzabile nella costruzione dei diodi e dei transistori. A questo scopo bisogna trasformare l'aggregato in un MONOCRISTALLO, cioè in un unico, grande cristallo, cresciuto con continuità e senza apprezzabili imperfezioni, secondo il disegno geometrico del reticolo.

Nella *fig. 6* sono illustrati due metodi di COLTIVAZIONE dei monocristalli di germanio.

Il primo metodo (*fig. 6-a*) costituisce una nuova applicazione del forno a radiofrequenza e della zona fusa mobile.

La sbarretta di germanio ottenuta al termine del raffinamento viene

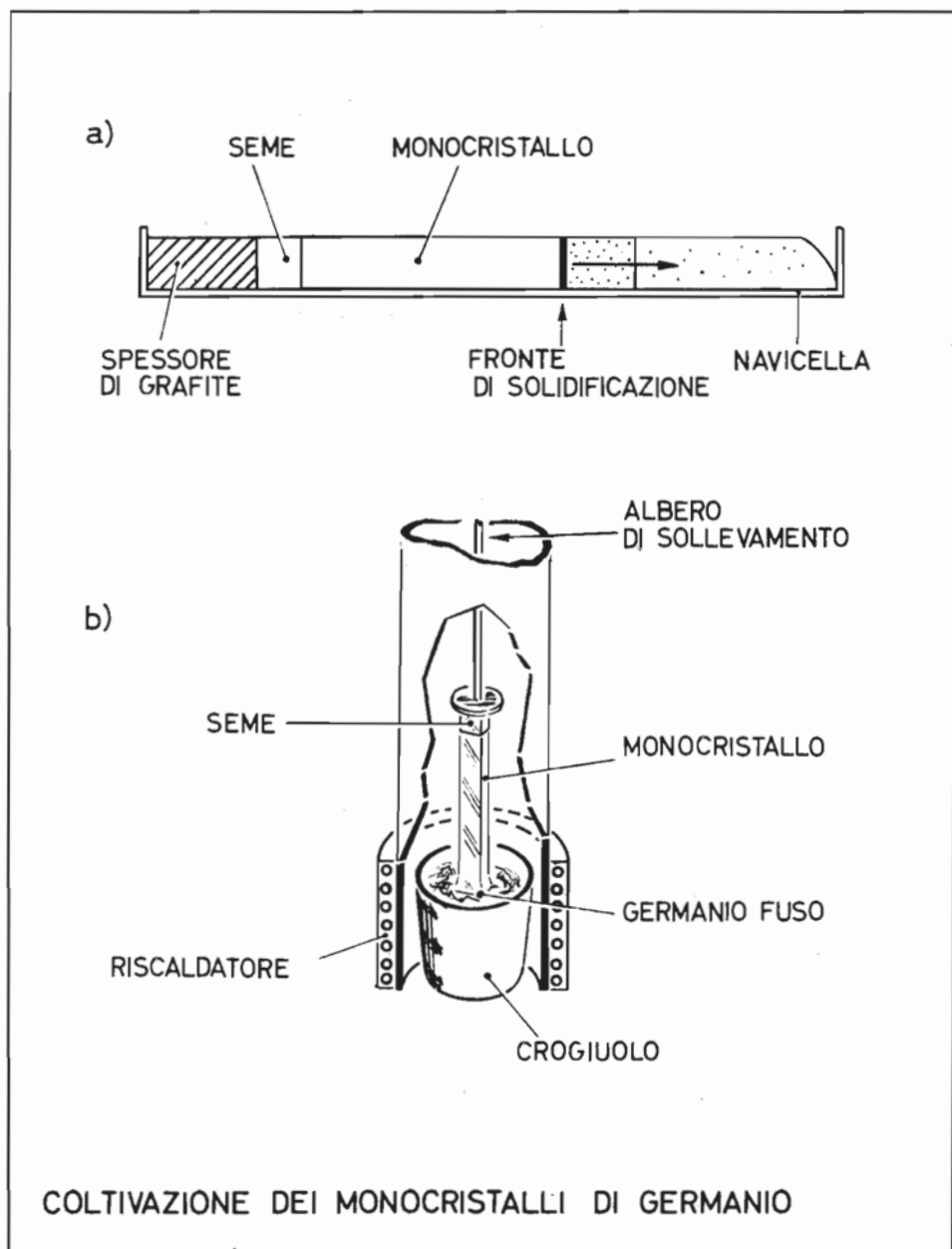


Fig. 6

posta in una navicella di quarzo con un monocristallo di germanio, detto SEME, e con uno spessore di grafite.

La navicella viene fatta avanzare molto lentamente nel forno, in modo che si formi una zona fusa che proceda altrettanto lentamente da un estremo all'altro della sbarretta.

Inizialmente la zona fusa deve trovarsi vicino al seme; in seguito la parte fusa si solidifica sotto forma di un unico cristallo, orientato secondo il reticolo cristallino del seme.

Durante il processo si provvede anche a sciogliere nella massa fusa del germanio quantità rigorosamente dosate di sostanze estranee, atte a trasformare il semiconduttore intrinseco in semiconduttore di tipo P o N.

Le sostanze più frequentemente usate per formare il semiconduttore di tipo P sono l'*indio*, l'*alluminio* ed il *gallio*; quelle usate per formare il semiconduttore di tipo N sono l'*arsenico*, il *fosforo* e l'*antimonio*. Quest'ultima operazione è detta correntemente DROGATURA del monocristallo.

Si può anche coltivare e drogare il monocristallo seguendo il metodo illustrato nella *fig. 6-b*.

L'apparecchio necessario allo scopo è costituito essenzialmente da un riscaldatore, da un crogiuolo e da un albero di sollevamento.

Nel crogiuolo vengono fatti fondere il germanio ed i materiali d'impurità richiesti per la drogatura.

Inizialmente il seme, applicato alla parte inferiore dell'albero di sollevamento, viene fatto aderire alla superficie liquida del germanio contenuto nel crogiuolo. Regolando opportunamente la temperatura del liquido si può ottenere che il germanio cominci a cristallizzarsi nel punto di contatto con il seme. A questo punto l'albero di sollevamento viene alzato molto lentamente, in modo che il cristallo in formazione continui a crescere e la sua estremità inferiore si mantenga sempre a contatto con la superficie del germanio liquido.

Con l'apparecchiatura descritta è possibile ottenere monocristalli drogati di tipo P, oppure di tipo N, od anche alternativamente di tipo P e N.

Nelle lezioni successive vedremo come i monocristalli vengano usati nella fabbricazione dei diodi e dei transistori.

4. - ESERCITAZIONE PRATICA

Rivelatore per tensioni RF

Continuando le esercitazioni pratiche con il diodo a cristallo iniziate nella *Transistori 2°*, ora eseguiremo il montaggio di un rivelatore per segnali a radiofrequenza modulata in ampiezza.

Il rivelatore con diodo a cristallo è simile al rivelatore con diodo elettronico studiato nella *Teorica 35°*; perciò anche il principio di funzionamento è sempre lo stesso.

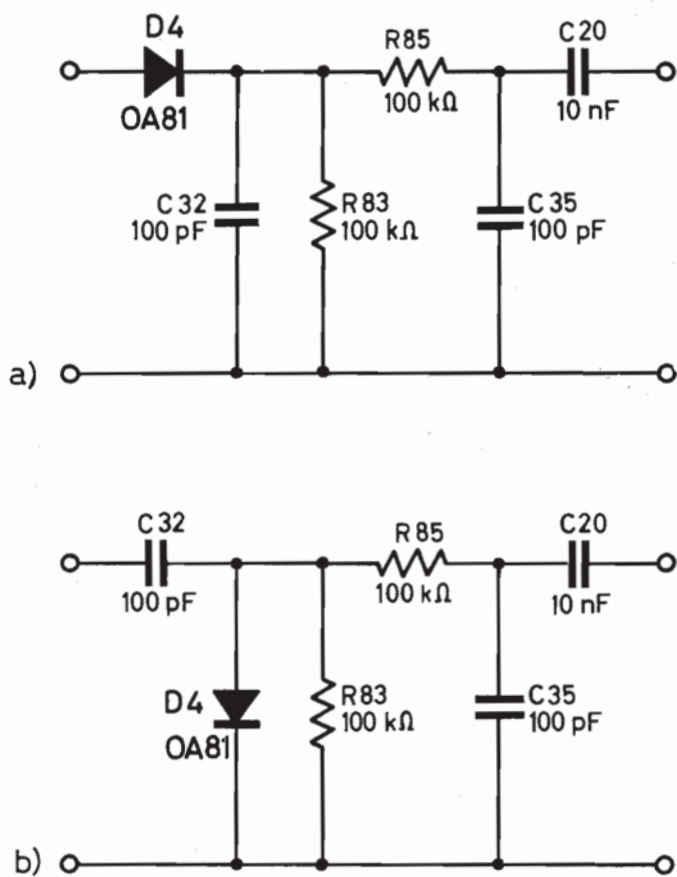
Nella *fig. 7* sono riportati gli schemi di due rivelatori RF con diodo al germanio OA81.

Il circuito della *fig. 7-a* si può considerare come derivato dai raddrizzatori a valore medio ed a valore di cresta studiati nella precedente lezione. Combinando insieme i due circuiti, ma sostituendo il condensatore con uno di valore inferiore (C32) e lo strumento di misura con un resistore (R83), si ottiene la parte essenziale del rivelatore della *fig. 7-a*.

Il resistore R85 ed il condensatore C35 svolgono soltanto la funzione di filtro contro le tracce di radiofrequenza ancora presenti dopo la rivelazione; il condensatore C20 può invece servire come condensatore d'accoppiamento fra l'uscita del filtro e l'entrata di un amplificatore di bassa frequenza. La presenza del condensatore C20 è richiesta per evitare che la componente continua del segnale rivelato passi con la componente alternata all'entrata del tubo amplificatore.

Nella *fig. 7-b* è riportato lo schema di un altro rivelatore RF, che differisce dal precedente in quanto la posizione del diodo e quella del condensatore C32 risultano scambiate fra loro.

Nella *Teorica 38°*, studiando il circuito RAG, abbiamo già trovato



CIRCUITI RIVELATORI RF

Fig. 7

un circuito analogo a quello della *fig. 7-b*, ed abbiamo già stabilito che esso funziona come tutti i raddrizzatori di tipo classico; perciò anche nel caso presente possiamo ritenere senz'altro che i due rivelatori della *fig. 7* funzionino nello stesso modo. Il secondo rivelatore ha però il vantaggio di consentire il prelievo del segnale a radiofrequenza in qualsiasi punto del circuito di un radoricevitore, e quindi anche nei punti dove si trova la tensione anodica; ciò è possibile grazie al condensatore C32 che, bloccando la tensione continua dell'anodo, serve da protezione al diodo.

Quest'ultimo circuito viene utilizzato nei puntali a radiofrequenza, detti anche *PROBE RF* o *SONDE RF*.

Il *probe RF* è costituito da un circuito di rivelazione montato su un telaio e racchiuso in un astuccio tubolare (*fig. 8*).

Un'estremità del *probe RF* termina con una punta metallica collegata al condensatore d'entrata (C32 della *fig. 7-b*); l'altra estremità termina con un cavetto schermato collegato al condensatore d'accoppiamento d'uscita del rivelatore (C20). Il tubo metallico dell'astuccio e la calza metallica del cavetto costituiscono la massa del *probe*, la quale dovrà essere collegata alla massa del radoricevitore da cui si vuole prelevare il segnale a radiofrequenza.

Il *probe RF* viene utilizzato dal riparatore per la ricerca dei guasti nei circuiti dei radoricevitori. Di solito l'uscita del *probe* viene collegata all'entrata di un amplificatore BF per l'amplificazione e la riproduzione in altoparlante del segnale rivelato.

Il montaggio che ora Lei eseguirà costituisce la realizzazione pratica del circuito della *fig. 7-b* sotto forma di un *probe* sperimentale, ottenuto utilizzando i materiali a Sua disposizione.

Per potere realizzare il nuovo circuito occorre, innanzitutto, eliminare tutti i componenti e collegamenti disposti fra i vari capicorda della basetta **A** nella precedente lezione.

I componenti ed i due spezzoni di filo trecciola, verde e nero, devono essere messi da parte perché saranno ancora utilizzati.

Dopo avere allentato il dado di fissaggio della boccola nera ne orienti il capocorda come indicato nella *fig. 9*, nella quale è illustrata la basetta **A** pronta per la nuova esercitazione.

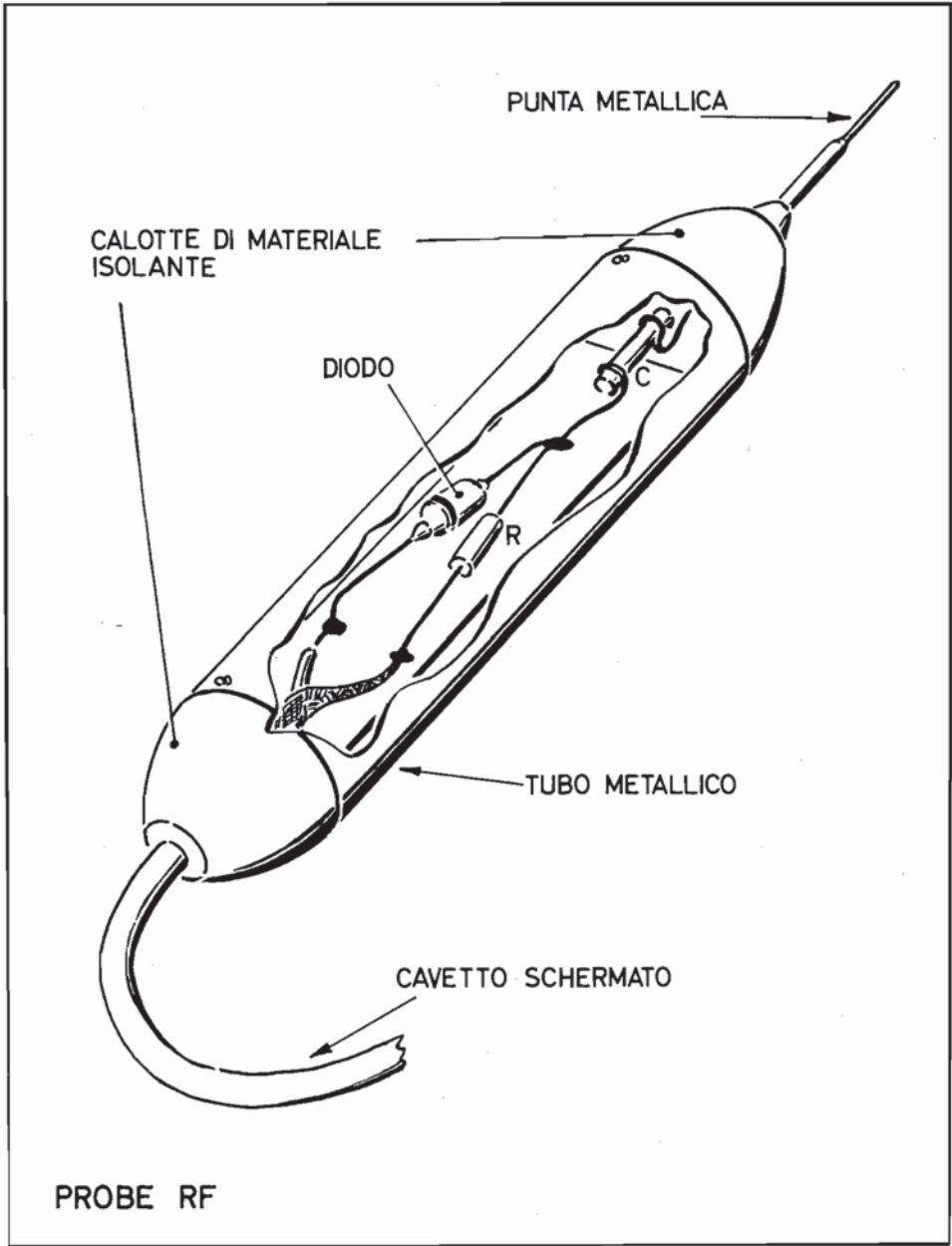


Fig. 8

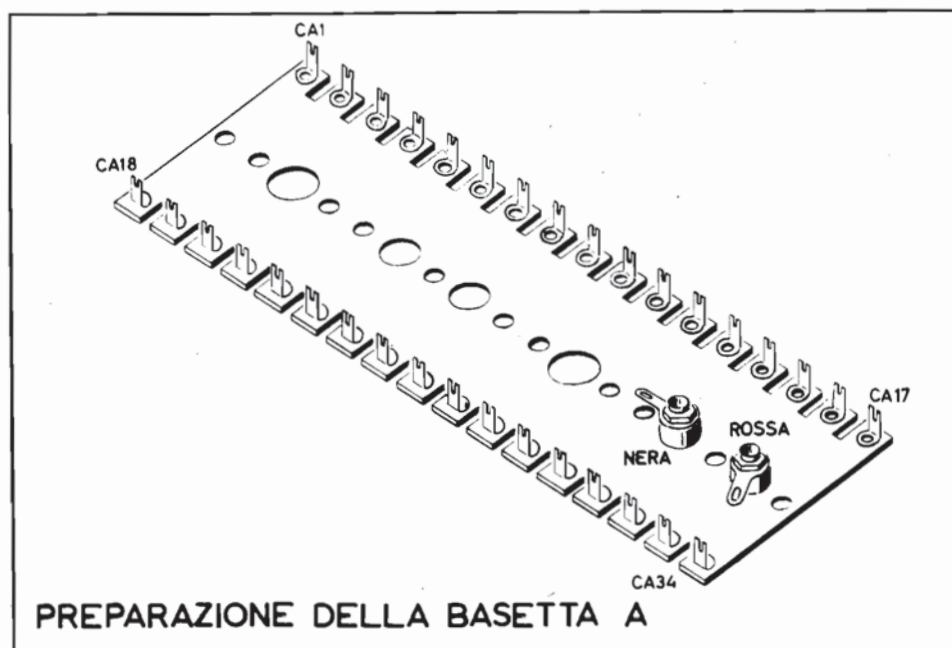


Fig. 9

Può quindi effettuare il montaggio del rivelatore RF attenendosi alle seguenti istruzioni e facendo riferimento alla *fig. 10*, per quanto riguarda la disposizione dei componenti.

a) Disponga il condensatore a mica C32 da 100 pF - 1 kVp, toll. 20%, fra gli occhielli dei capicorda CA15 e CA17, sistemandolo in modo che il suo lato più stretto sia a contatto con la basetta; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA15.

b) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo da 1 mm di diametro, lungo 3 cm circa. Saldi un estremo dello spezzone sull'occhiello del capocorda CA17, come indicato nella *fig. 10*, bloccando così anche il terminale del condensatore C32 precedentemente disposto. L'altro estremo dello spezzone deve rimanere libero e sporgente dalla basetta.

c) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 4 cm e lo

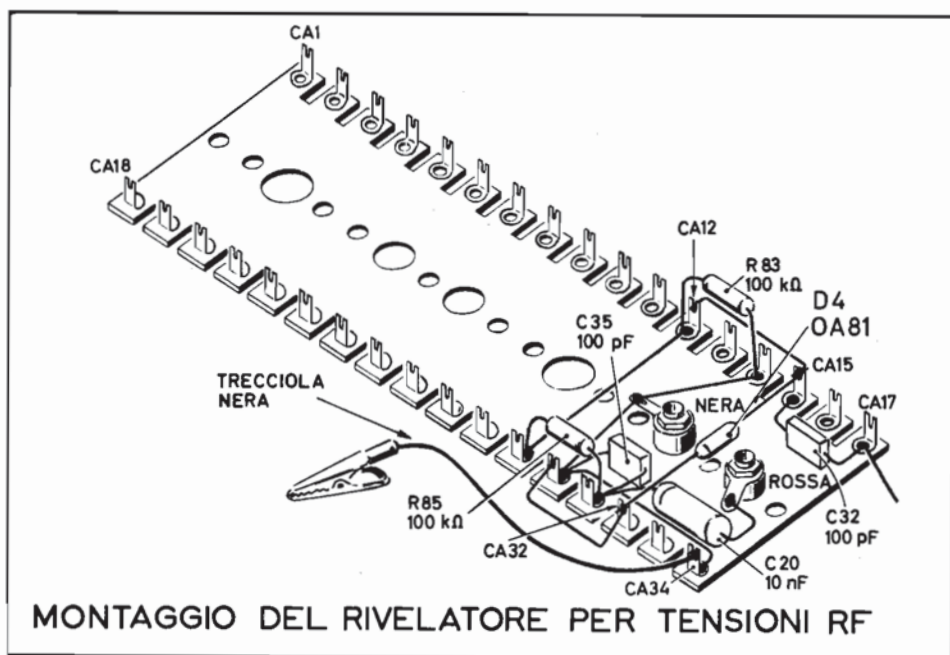


Fig. 10

disponga fra le linguette dei capicorda CA12 e CA15; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA12.

d) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 3 cm e lo disponga fra l'occhiello del capocorda CA14 ed il capocorda della boccola nera; per ora non esegua alcuna saldatura.

e) Disponga i terminali del resistore ad impasto R83 da 100 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - giallo, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA12 e CA14; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA14, bloccando così anche il filo isolato nero proveniente dalla boccola nera.

f) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 5 cm e lo disponga fra gli occhielli dei capicorda CA29 e CA12; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA12, bloccando in tal modo anche il terminale del resistore R83 precedentemente disposto.

g) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 5,5 cm e lo

disponga fra gli occhielli dei capicorda CA30 e CA34; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA34.

h) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 3 cm e lo disponga fra l'occhiello del capocorda CA30 ed il capocorda della boccola nera; esegua la saldatura solamente sul capocorda della boccola nera, bloccando così anche il filo isolato nero proveniente dal capocorda CA14.

i) Disponga il condensatore a mica C35 da 100 pF - 1 kVp, toll. 20%, fra gli occhielli dei capicorda CA30 e CA31, sistemandolo in modo che il suo lato più stretto sia a contatto con la bassetta; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA30, bloccando così anche i due fili isolati neri precedentemente disposti, provenienti rispettivamente dalla boccola nera e dal capocorda CA34.

l) Disponga il resistore ad impasto R85 da 100 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - giallo, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA29 e CA31; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA29, bloccando così anche il filo isolato rosso, precedentemente disposto, proveniente dal capocorda CA12.

m) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 3 cm e lo disponga fra le linguette dei capicorda CA30 e CA32; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA30.

n) Disponga il diodo al germanio D4, OA81 o equivalente, tra le linguette dei capicorda CA15 e CA32, con il lato contrassegnato (cioè il catodo) rivolto verso la linguetta del capocorda CA32; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il filo isolato rosso proveniente dal capocorda CA12 ed il filo isolato nero proveniente dal capocorda CA30.

o) Disponga il condensatore a carta C20 da 10 nF fra l'occhiello del capocorda CA31 ed il capocorda della boccola rossa, con l'eventuale lato contrassegnato da un cerchietto nero rivolto verso il capocorda CA31; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche i terminali del condensatore C35 e del resistore R85 disposti in precedenza nell'occhiello del capocorda CA31.

p) Saldi sulla linguetta del capocorda CA34 un estremo dello spezzone di filo trecciola nero recuperato nella fase di preparazione della bassetta.

q) Saldi, infine, all'estremo libero dello spezzone di filo treciola il coccodrillo non isolato ricevuto con la 3ª Serie di Materiali.

Il lavoro di montaggio è così terminato.

Verifichi attentamente i collegamenti eseguiti confrontandoli con lo schema pratico della *fig. 10*.

L'esercitazione che deve compiere consiste nel rivelare, con il circuito ora montato, il segnale RF generato dall'oscillatore modulato; il segnale così rivelato sarà poi riprodotto dall'amplificatore BF realizzato nella *Pratica 33*. *E' necessario eseguire questa esercitazione dopo aver eseguito le operazioni di montaggio dell'oscillatore previste nella Pratica 38*.

Poiché nella *Pratica 37* ha già montato sul telaio dell'amplificatore un circuito rivelatore, è necessario, per potere eseguire l'esercitazione, escluderlo provvisoriamente dall'ingresso dell'amplificatore stesso e collegare nuovamente il cavetto schermato proveniente dal potenziometro P3 alle boccole isolate gialla e nera.

Prenda quindi il telaio B. Le operazioni di modifica del circuito devono svolgersi nell'ordine seguente.

a) Dissaldi dall'occhiello del capocorda CA107 il conduttore interno del cavetto schermato.

b) Dissaldi dalla linguetta del capocorda CA108 la calza del cavetto schermato.

c) Dissaldi il terminale del condensatore a mica C21 da 500 pF dal capocorda della boccola gialla A.

d) Saldi il conduttore interno del cavetto schermato sul capocorda della boccola gialla A; saldi la calza schermante sul capocorda della boccola nera B.

Il lavoro ora eseguito è rappresentato nello schema pratico della *fig. 11*.

L'amplificatore BF è così pronto per l'esercitazione.

Innesti i tubi EZ81 ed ECL82 nei rispettivi zoccoli portatubo; inserisca le banane del trasformatore d'uscita nelle boccole rosse D ed E del telaio B.

Disponga l'oscillatore modulato vicino all'amplificatore BF ed innesti il tubo ECF80 nel relativo zoccolo portatubo.

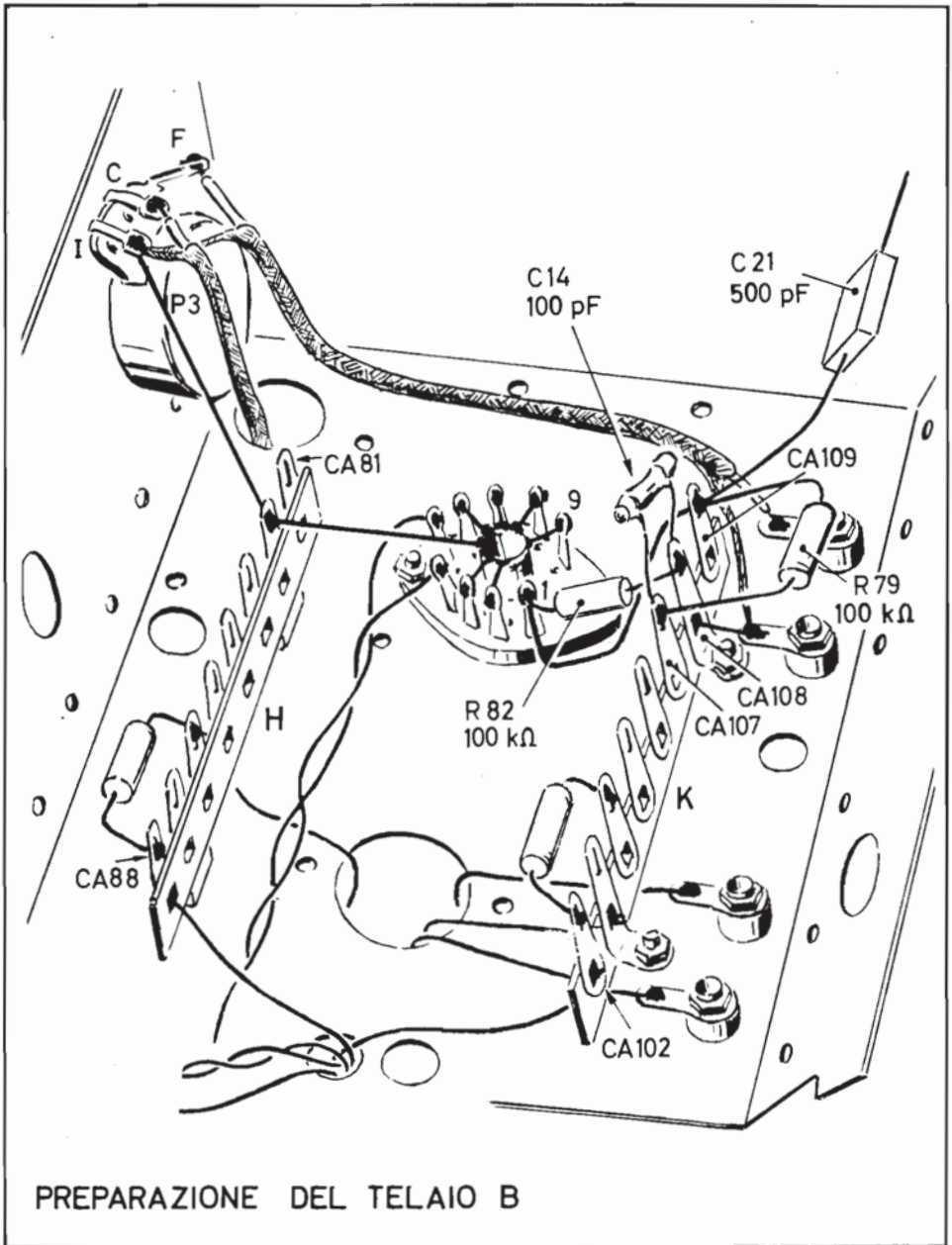


Fig. 11

Prenda il cavetto schermato realizzato nella *Pratica 34*, munito di due banane ad entrambe le estremità.

Introduca la banana rossa posta ad un'estremità del cavetto nella boccola gialla A dell'amplificatore; introduca la banana nera posta alla stessa estremità nella boccola nera B.

Introduca la banana rossa situata all'estremità opposta del cavetto nella boccola rossa della basetta A e la banana nera nella boccola nera della basetta A.

Serri con il coccodrillo proveniente dalla basetta A la piastra dell'oscillatore modulato in un punto qualsiasi.

Disponga la manopola del gruppo a radiofrequenza dell'oscillatore modulato sulla posizione OL; sposti la levetta dell'interruttore I2 dell'oscillatore sulla posizione MOD. INT.; ruoti completamente a destra la manopola del potenziometro regolatore di volume dell'amplificatore.

Dia tensione ai due apparecchi.

Non Le rimane ora che collegare il circuito rivelatore all'uscita dell'oscillatore modulato.

Questo collegamento verrà eseguito portando lo spezzone di filo di rame fuoriuscente dalla basetta A a contatto con il capocorda CA132 della basetta Q dell'oscillatore, dove è appunto presente il segnale RF modulato.

Nell'eseguire tale operazione *dovrà fare molta attenzione affinché lo spezzone di filo di rame fuoriuscente dalla basetta non venga inavvertitamente a contatto con altri punti del circuito, causando eventuali cortocircuiti.*

Prenda in mano la basetta A e, tenendola in modo che le dita non vengano a contatto con il circuito montato su essa, porti lo spezzone di filo di rame fuoriuscente dalla basetta stessa a contatto con il capocorda CA132 della basetta Q dell'oscillatore, come indicato nella *fig. 12*.

Dall'altoparlante dell'amplificatore BF deve udire la caratteristica nota corrispondente al segnale generato dall'oscillatore: infatti in tali condizioni il segnale RF modulato, emesso dall'oscillatore, viene rivelato e quindi riprodotto dall'amplificatore BF.

Qualora non udisse alcun suono dall'altoparlante si accerti, innan-

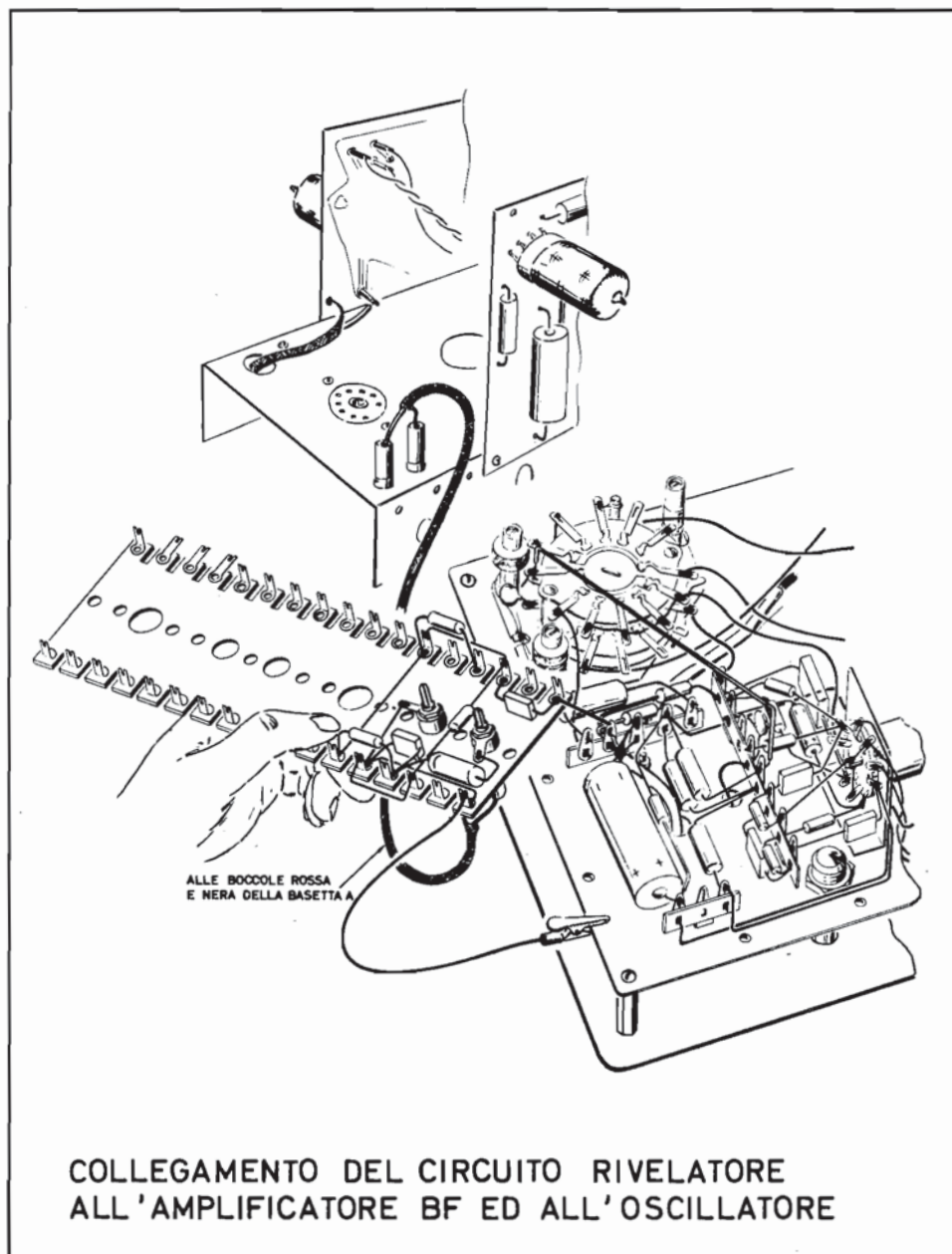


Fig. 12

zitutto, che il circuito rivelatore sia collegato esattamente al capocorda CA132 e che il cocodrillo proveniente dalla basetta A sia serrato alla piastra; verifichi inoltre che le banane del cavetto schermato siano inserite a fondo nelle rispettive boccole isolate della basetta e dell'amplificatore.

Se da questi controlli non dovesse rilevare alcuna irregolarità controlli con l'ohmmetro l'efficienza del diodo al germanio, dopo averne dissaldato un terminale dal circuito, seguendo le istruzioni fornite al riguardo nella precedente lezione.

Infine si accerti del regolare funzionamento dell'amplificatore BF.

Ottenendo esito positivo dalla prova ora eseguita, può ritenere conclusa l'esercitazione.

Spenga i due apparecchi e sfilì le banane del cavetto schermato dalle boccole isolate della basetta e dell'amplificatore; stacchi dall'oscilatore il cocodrillo proveniente dalla basetta A.

Non Le rimane ora che collegare nuovamente all'ingresso dell'amplificatore BF il circuito rivelatore montato sullo stesso telaio.

a) Dissaldi il conduttore interno del cavetto schermato dal capocorda della boccola gialla A; dissaldi la calza schermante dal capocorda della boccola nera B.

b) Saldi il conduttore interno del cavetto schermato sull'occhiello del capocorda CA107 della basetta K; saldi la calza schermante sulla linguetta del capocorda CA108.

c) Saldi il terminale del condensatore a mica C21 da 500 pF sul capocorda della boccola gialla A.

Il telaio B deve presentarsi ora come illustrato nella *fig. 12* della *Pratica 37°*.

Nella prossima lezione completeremo la rassegna dei diodi a semiconduttori e dei circuiti in cui essi possono essere utilizzati.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 3°

1. - Come si ottiene la giunzione P-N?
 2. - Che cosa è la *zona d'esaurimento*?
 3. - Che cosa è il *potenziale di contatto*, o *potenziale di diffusione*, o *barriera di potenziale* della giunzione P-N?
 4. - Quali correnti possono attraversare la giunzione P-N?
 5. - Al termine dei processi di raffinamento dei semiconduttori si ottengono *monocristalli*?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 2°

1. - Sono semiconduttori intrinseci quei semiconduttori che hanno elettroni liberi e buchi in quantità eguali.
 2. - Sono semiconduttori di tipo N quei semiconduttori che hanno un numero di elettroni liberi maggiore del numero di buchi.
 3. - Sono semiconduttori di tipo P quei semiconduttori che hanno un numero di buchi maggiore del numero di elettroni liberi.
 4. - I transistori non sono i soli dispositivi a semiconduttori; altri componenti a semiconduttori sono i diodi a cristallo, i fotodiodi, le celle solari, ecc.
 5. - Fra i terminali di un diodo a cristallo si possono misurare due valori di resistenza: la resistenza diretta (valore inferiore) e la resistenza inversa (valore superiore).
-

(39)

1. - LA CARATTERISTICA DEL DIODO A CRISTALLO

Nella *Transistori 2°* con la prima esercitazione pratica abbiamo visto che il diodo a cristallo presenta le proprietà di un diodo elettronico, cioè conduce molto bene la corrente in un senso e non la conduce quasi affatto nel senso opposto. Queste proprietà si possono esprimere in modo completo con la CARATTERISTICA TENSIONE-CORRENTE, cioè con una curva analoga a quella riportata nella *fig. 5 della Teorica 14°*.

Per il rilievo della curva caratteristica di un diodo a cristallo bisogna realizzare due circuiti: uno per misurare la *tensione diretta* e la *corrente diretta* (circuitto A, *fig. 1*); l'altro per misurare la *tensione inversa* e la *corrente inversa* (circuitto B, *fig. 1*).

Con il primo circuito si può costruire la CARATTERISTICA DIRETTA del diodo, seguendo il procedimento già descritto nella *Teorica 14° (paragrafo 1.2)*; con il secondo si può costruire la CARATTERISTICA INVERSA, prolungando la curva a sinistra dell'origine (O) del sistema d'assi cartesiani (*fig. 1*).

L'insieme della caratteristica diretta e della caratteristica inversa costituisce la caratteristica tensione-corrente del diodo.

La caratteristica diretta è praticamente simile a quella del diodo elettronico riportata nella *fig. 5 della Teorica 14°*; invece quella inversa non ha corrispondente nella caratteristica del diodo elettronico. Questa diversità si spiega facilmente ricordando che attraverso la giunzione P-N passa una certa corrente anche quando al diodo semiconduttore venga applicata la tensione inversa (V_i), cioè passa la corrente inversa (I_i); invece fra anodo e catodo non si ha alcun passaggio di corrente quando al diodo elettronico viene applicata una tensione inversa, ossia quando l'anodo è negativo rispetto al catodo.

La diversità è tuttavia più apparente che reale, poiché in pratica

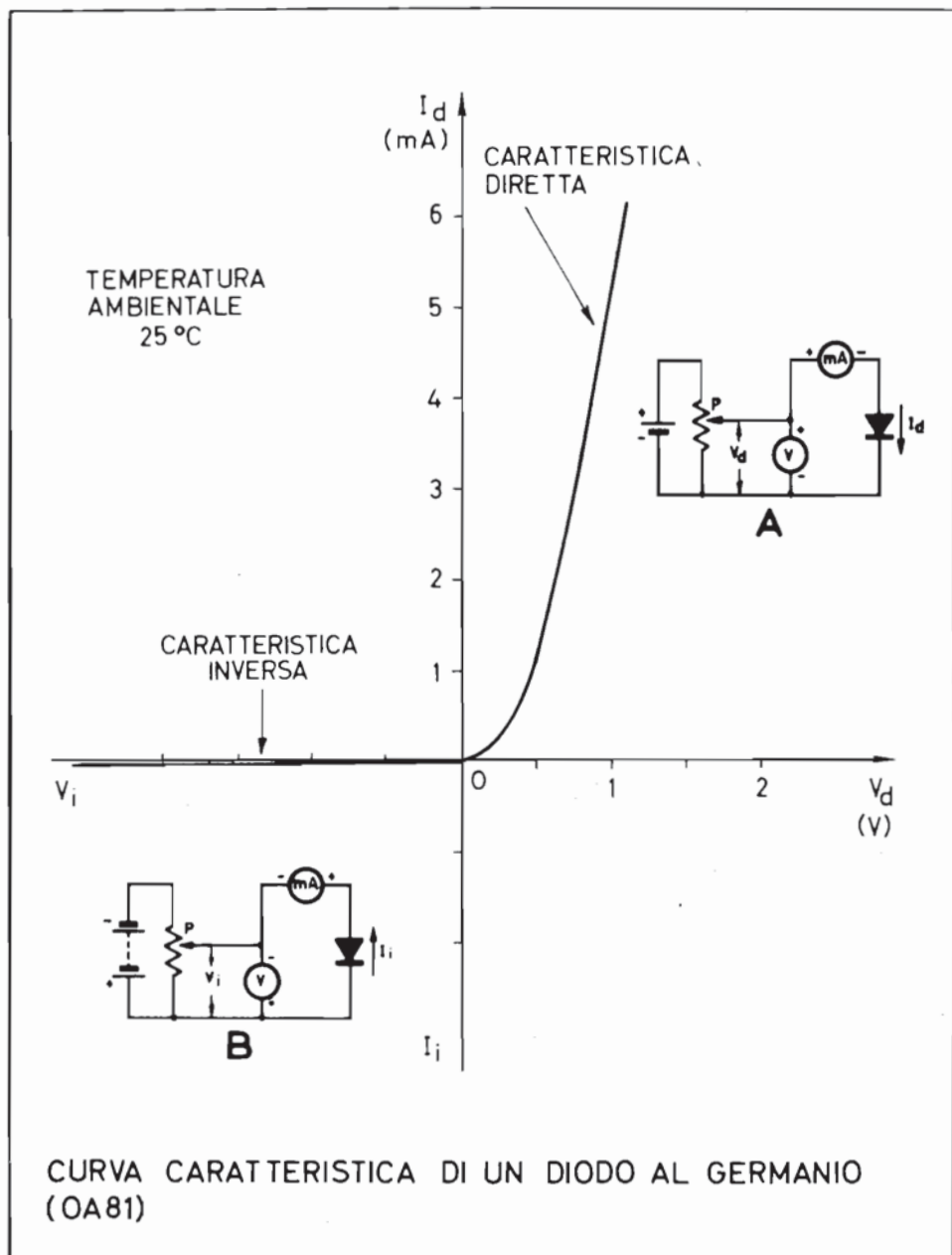


Fig. 1

la corrente inversa del diodo a semiconduttori si mantiene sempre trascurabile durante il normale funzionamento del diodo; quindi si potrebbe anche non tenere conto della caratteristica inversa e considerare soltanto quella diretta. I costruttori però fra i dati tecnici dei diodi a cristallo danno anche la caratteristica inversa; anzi, di solito per i raddrizzatori al silicio e per alcuni tipi di raddrizzatori al germanio essi danno le due caratteristiche in grafici separati; inoltre esprimono la corrente diretta (I_d) in *milliampere* (mA) e la corrente inversa (I_i) in *microampere* (μA).

La separazione dei grafici e l'uso di diversi sottomultipli per esprimere le correnti ($1 \text{ mA} = 1.000 \mu A$) sono giustificati dal fatto che le correnti inverse sono molto deboli, mentre le tensioni corrispondenti sono relativamente alte; d'altra parte le correnti dirette sono notevolmente più intense rispetto a quelle inverse, mentre le tensioni dirette sono relativamente basse.

Nella *fig. 2* sono riportate, quale esempio, le due caratteristiche del diodo al silicio BY114. Nella *fig. 2-a* si trova la caratteristica diretta; nella *fig. 2-b* si trova invece la caratteristica inversa. Nell'uno e nell'altro grafico per rappresentare le correnti I_d e I_i si usano scale logaritmiche. L'uso delle scale logaritmiche al posto delle normali scale metriche, ed inoltre l'estensione dei campi dei valori della corrente diretta I_d e della tensione inversa V_i fanno sì che le due caratteristiche appaiano di forma alquanto diversa da quella delle caratteristiche, diretta ed inversa, della *fig. 1*; si tratta però soltanto di una diversità formale: in pratica l'andamento dei valori è dello stesso tipo nell'uno e nell'altro caso.

Notiamo infine che insieme con le caratteristiche in genere viene anche indicata la temperatura alla quale sono stati rilevati i valori di tensione e corrente. Talvolta viene precisata la TEMPERATURA AMBIENTALE (*fig. 1*), cioè la temperatura che si misura nelle vicinanze del diodo durante il suo funzionamento, talaltra viene invece precisata la TEMPERATURA DELLA GIUNZIONE (*fig. 2*) rilevata durante il funzionamento del diodo, temperatura che nei raddrizzatori è notevolmente superiore a quella ambientale. Alcuni costruttori al posto della temperatura ambientale o di quella della giunzione indicano la *temperatura del fondello metallico del contenitore*.

L'uno o l'altro valore di temperatura viene segnalato soltanto perché la pendenza della caratteristica di un diodo a cristallo può mutare

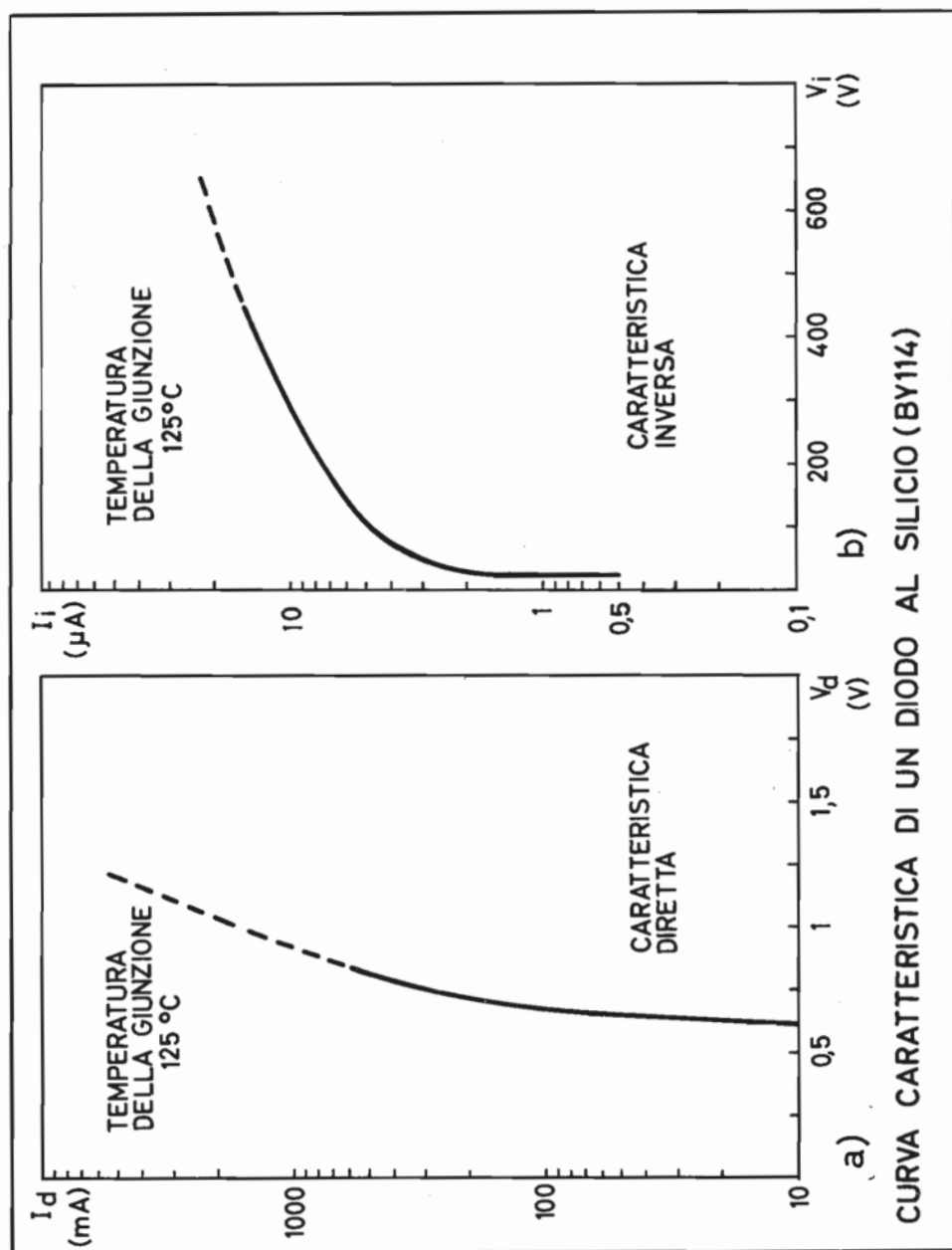


Fig. 2

considerevolmente al variare della temperatura; quindi il progettista che usi le caratteristiche dovrà tenere presenti anche le condizioni termiche che si producono durante il funzionamento del diodo.

2. - COSTRUZIONE DEI DIODI A SEMICONDUTTORI

Nella lezione precedente si è visto come vengano preparati i semiconduttori per uso elettronico e come si ottengano i monocristalli.

In genere al termine del processo di coltivazione il monocristallo si presenta sotto forma di lingotto cilindrico, non perfettamente regolare. Questo lingotto, dopo alcuni controlli tendenti ad accertare la perfetta distribuzione dei materiali d'impurità, viene tagliato in lamine sottili, dette PASTIGLIE (fig. 3-a); successivamente ciascuna pastiglia viene

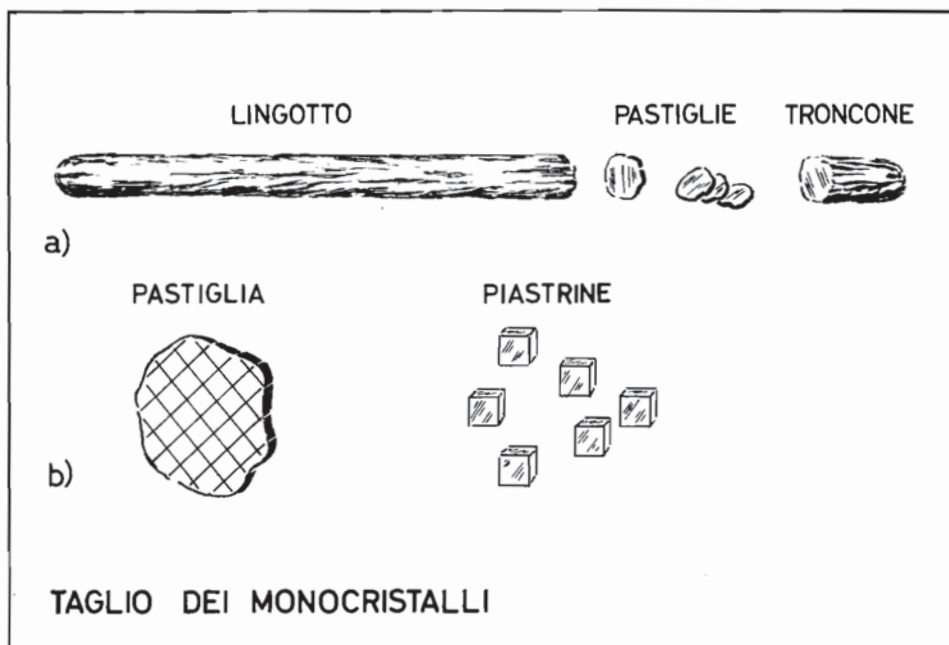


Fig. 3

spianata sulle due facce, ripulita con solventi e levigata; quindi viene ancora tagliata e così si ricavano piastrine più o meno grandi a seconda dell'impiego cui sono destinate (fig. 3-b).

Nella fig. 4 si può vedere come siano costituiti alcuni tipi di diodi a punta di contatto.

Ad un conduttore di rame viene saldata una piastrina di semiconduttore N; ad un altro conduttore di rame viene saldata una punta di tungsteno e successivamente un supporto di vetro.

I due conduttori vengono poi introdotti in un tubetto di vetro, in modo che la punta di tungsteno preme sulla piastrina; infine si procede alla chiusura del contenitore saldando il tubetto di vetro da un lato al rame su cui appoggia la piastrina e dall'altro lato al supporto di vetro.

Il contenitore viene verniciato con sostanze opache per evitare che la luce modifichi le condizioni di funzionamento del semiconduttore.

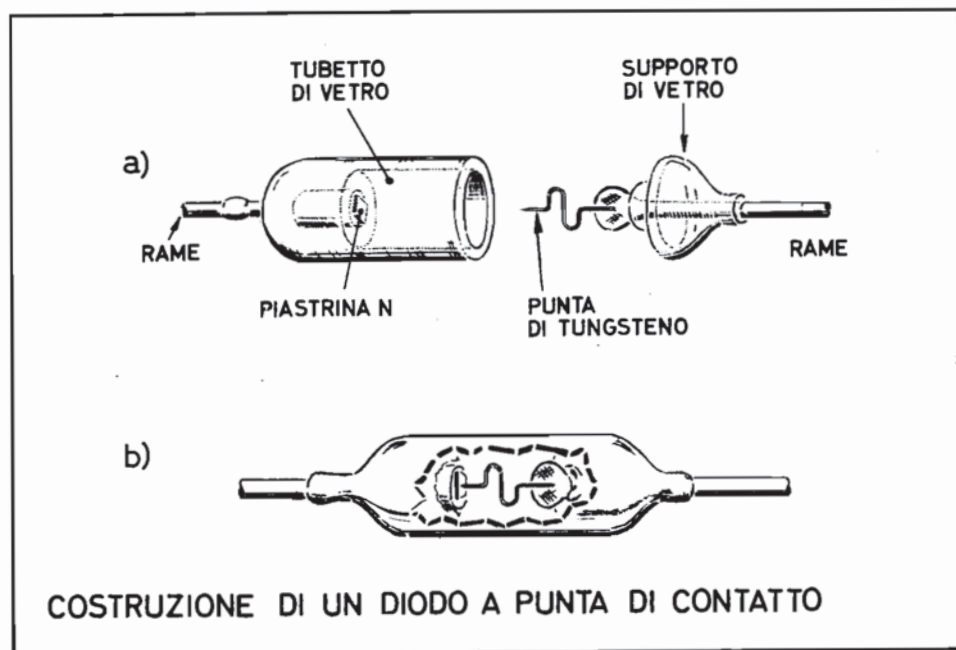


Fig. 4

Nella *fig. 5* sono illustrate le fasi principali della fabbricazione di un altro tipo di diodo a cristallo, detto DIODO A GIUNZIONE DI LEGA.

Inizialmente si appoggia su una piastrina di semiconduttore N una certa dose di alluminio (*fig. 5-a*) o di indio; poi si riscalda l'insieme in modo da ottenere la fusione dell'alluminio (o dell'indio) e la parziale fusione del semiconduttore (*fig. 5-b*); successivamente i materiali sono fatti raffreddare molto lentamente e così si solidificano determinando la formazione di una zona P e quindi di una giunzione P-N nella piastrina (*fig. 5-c*).

Il montaggio e la chiusura del diodo (*fig. 5-d, fig. 5-e*) vengono eseguiti con procedimenti quasi simili a quelli già descritti per il diodo a punta di contatto; esiste una sola diversità sostanziale: il conduttore che sostituisce la punta di tungsteno non viene semplicemente premuto sulla piastrina, ma viene saldato all'alluminio (o all'indio) che ricopre la zona P della piastrina.

Esistono anche altri procedimenti di fabbricazione dei diodi; ad esempio, per ottenere la giunzione P-N si può ricorrere al metodo della DIFFUSIONE, anziché a quello di lega.

Il metodo della diffusione consiste nel far evaporare materiali d'impurità e nell'ottenere che essi penetrino in una piastrina P in modo da formare una zona N; esso è seguito nella fabbricazione dei diodi al silicio per tensioni e correnti elevate.

Oltre ai diodi a cristallo di vario tipo, attualmente sono ancora molto usati i DIODI AL SELENIO, e talvolta, soprattutto negli strumenti di misura, sono impiegati i DIODI AD OSSIDO DI RAME.

I diodi al selenio e quelli ad ossido di rame appartengono alla categoria dei dispositivi a semiconduttori, come i diodi al germanio ed al silicio; ma, a differenza di questi ultimi, essi non sono costituiti da giunzioni P-N, né da piastrine ricavate da monocristalli opportunamente preparati e trattati con impurità.

I diodi al selenio e ad ossido di rame sono fabbricati con procedimenti empirici, senza una chiara conoscenza dei fenomeni che sono alla base del loro funzionamento.

I raddrizzatori al selenio sono formati da più elementi sovrapposti, come si è visto nella *Pratica 14°*. Ciascun elemento (*fig. 6-a*) è formato

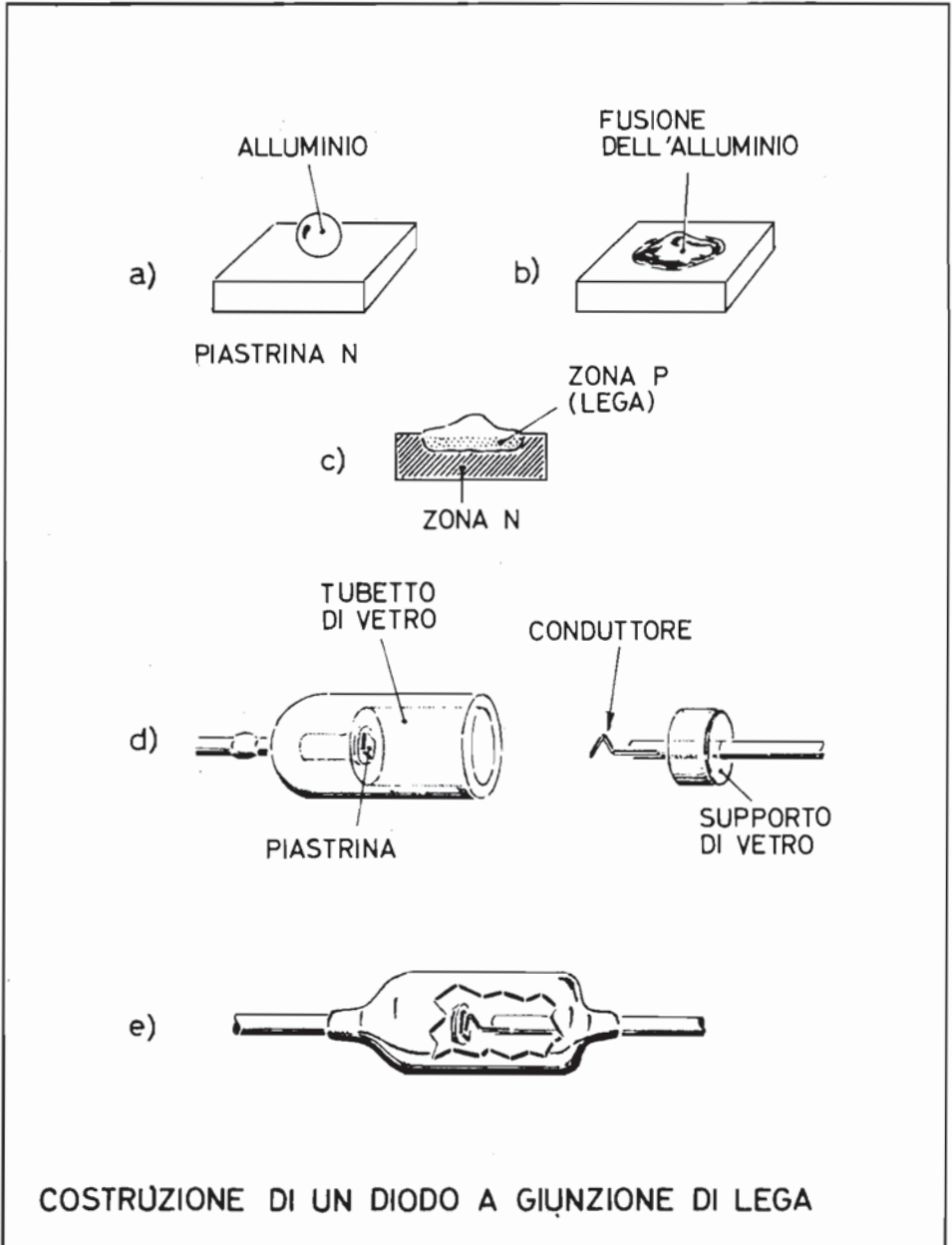


Fig. 5

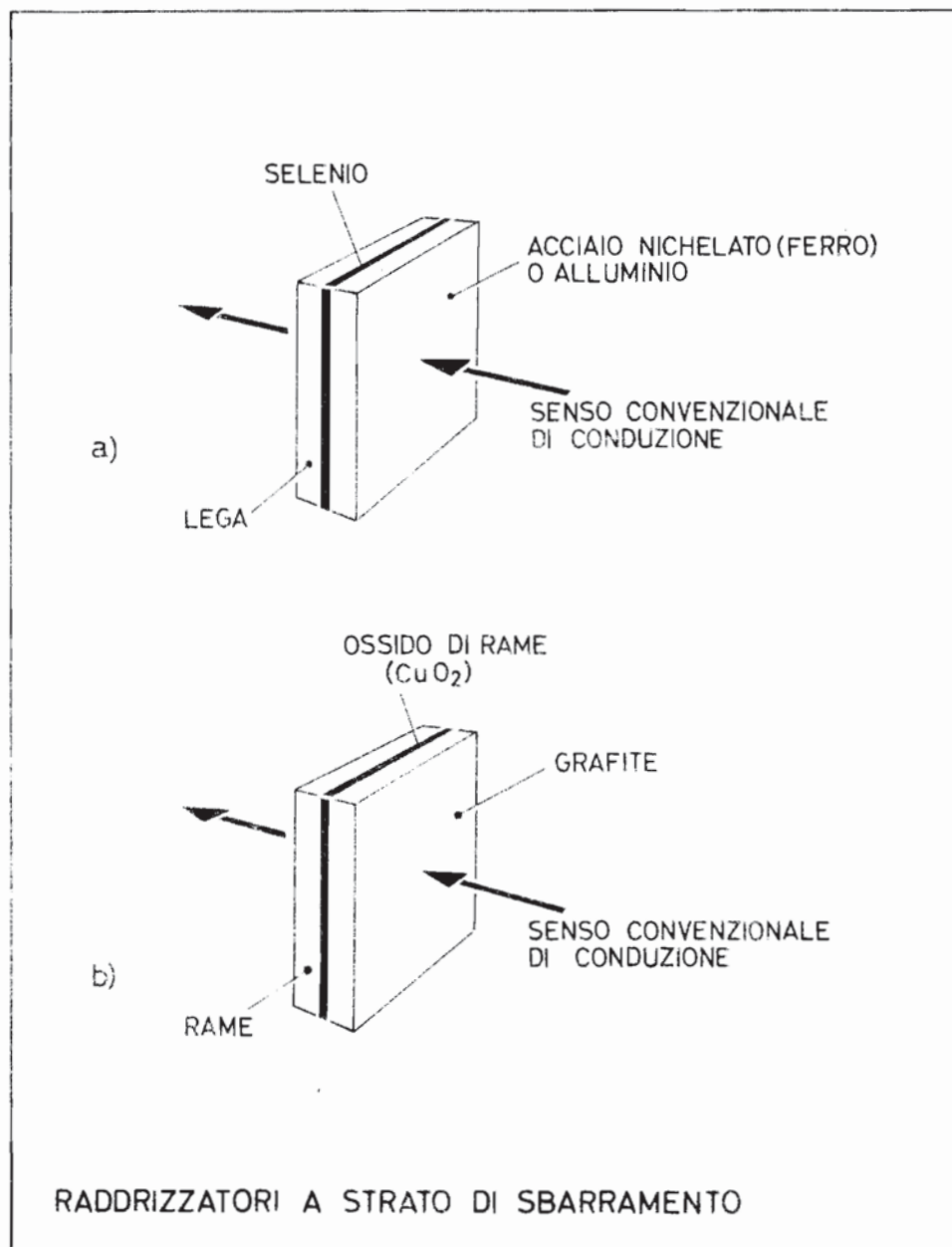


Fig. 6

da un supporto di acciaio nichelato o d'alluminio, sul quale viene fatto depositare un sottile strato di selenio con spessore di circa 1 *decimilimetro*. La superficie libera del selenio viene ricoperta con una lega a basso punto di fusione; in genere si usa una lega a base di cadmio e stagno, la quale funzionerà da elettrodo negativo (catodo), mentre il selenio funzionerà da elettrodo positivo (anodo). In proposito conviene però ricordare che i costruttori dei raddrizzatori al selenio usano come contrassegno del catodo il segno +; questo segno non dovrà essere interpretato come simbolo dell'elettrodo positivo, cioè dell'anodo, ma dovrà semplicemente rammentare che sul terminale del catodo nei circuiti raddrizzatori si preleva la tensione raddrizzata positiva rispetto a massa; analogamente il segno — che talvolta contraddistingue il terminale dell'anodo sta semplicemente a rammentare che su quel terminale nei circuiti raddrizzatori si può prelevare una tensione continua negativa rispetto a massa.

Come l'elemento del raddrizzatore al selenio anche quello del raddrizzatore ad ossido di rame (*fig. 6-b*) è costituito da una lamina metallica, cioè di rame, che non funziona semplicemente da supporto come quella di acciaio nichelato, ma costituisce il catodo del raddrizzatore.

L'anodo è costituito da un sottile strato di un ossido di rame, che in chimica si indica con il simbolo CuO_2 .

Lo spessore di questo strato è pressappoco uguale a quello del selenio nel raddrizzatore al selenio, ossia è di 1 *decimillimetro* circa.

L'ossido di rame viene ricoperto con grafite allo scopo di assicurare il contatto elettrico fra l'ossido ed il conduttore che fa da terminale del raddrizzatore.

Come già si è accennato, non esiste una teoria che spieghi completamente il funzionamento dei raddrizzatori al selenio e ad ossido di rame. Tuttavia si può immaginare che in questi raddrizzatori esista uno sbarramento costituito da uno strato di separazione fra un buon conduttore (lega stagno-cadmio, rame) ed un semiconduttore (selenio, ossido di rame). Il semiconduttore deve essere trattato con certi procedimenti, stabiliti empiricamente, mediante i quali si può ottenere che la resistività del materiale sia ridotta a circa un decimo del suo valore normale.

Lo strato di separazione fra i due elettrodi si comporta come un sottilissimo isolante attraverso il quale possono passare gli elettroni

in un solo verso, cioè dal catodo all'anodo. Usando un'immagine si può paragonare lo strato di separazione allo sbarramento in un corso d'acqua quasi stagnante. Introducendo nel corso d'acqua una diga di sbarramento si crea un dislivello, attraverso il quale l'acqua passa in senso unico, non potendo tornare indietro in alcun modo. Analogamente mettendo a contatto un buon conduttore, cioè materiale ricco di elettroni liberi, ed un semiconduttore, cioè materiale povero di elettroni liberi, si crea un dislivello di potenziale e quindi uno sbarramento che rispetto al flusso di elettroni si comporta pressappoco come la diga rispetto al corso d'acqua; accade cioè che gli elettroni possono circolare facilmente dal buon conduttore al semiconduttore, mentre sono fortemente impediti nel senso opposto.

Ricordando l'immagine scelta per fornire uno spunto alla spiegazione dei fenomeni, i raddrizzatori al selenio e quelli ad ossido di rame sono stati indicati con il nome generico di RADDRIZZATORI A STRATO DI SBARRAMENTO; da altri sono stati indicati con il nome di RADDRIZZATORI METALLICI, e da altri ancora con il nome di RADDRIZZATORI A SECCO.

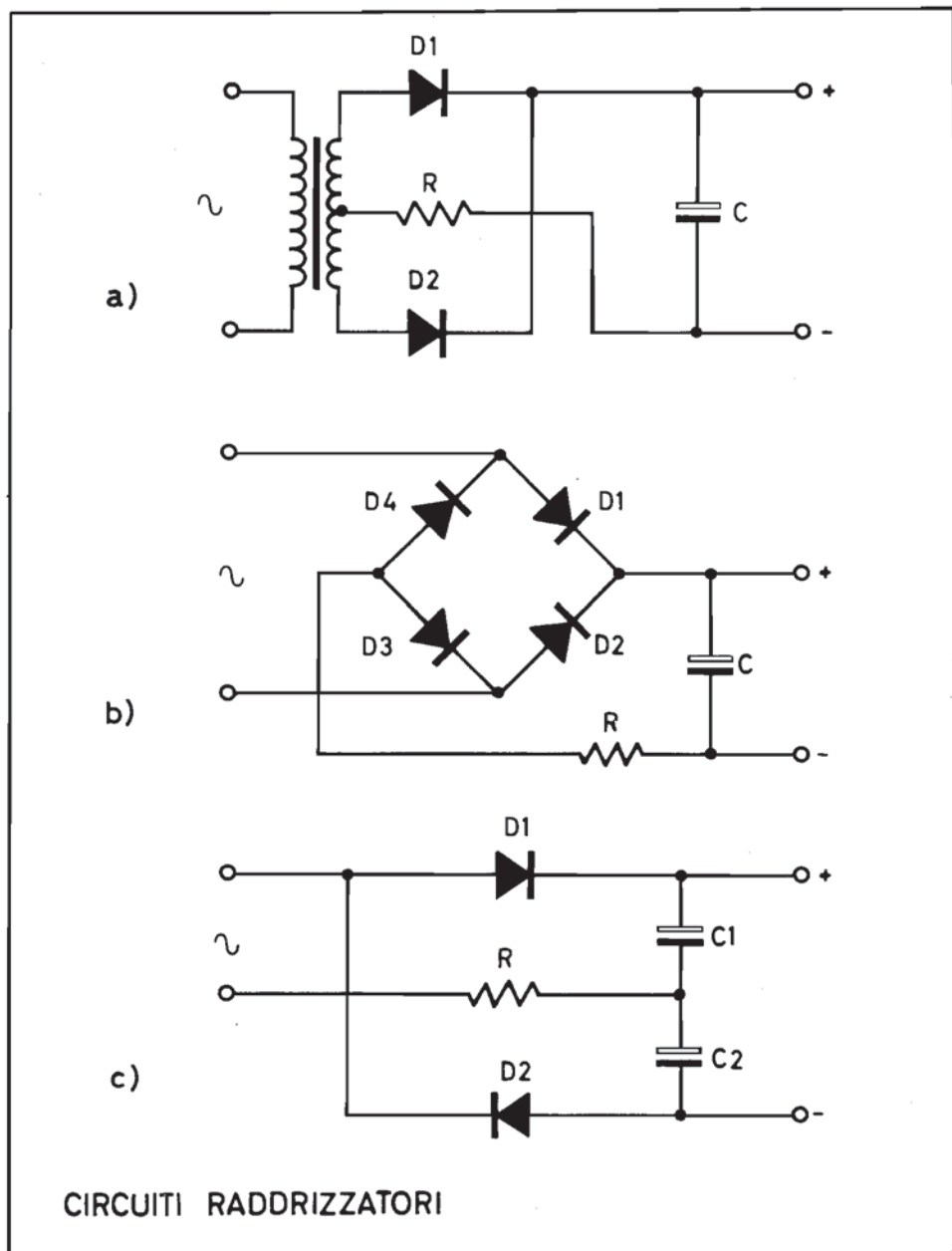
3. - CIRCUITI D'IMPIEGO DEI DIODI A SEMICONDUTTORI

I diodi al germanio e quelli al silicio, cioè i diodi a cristallo, possono essere usati in tutte le applicazioni elettroniche in sostituzione dei diodi a vuoto; i diodi al selenio e quelli ad ossido di rame, cioè i diodi a strato di sbarramento, vengono invece impiegati esclusivamente come raddrizzatori di corrente alternata.

Ora passeremo in rassegna i principali circuiti d'impiego dei diodi a semiconduttori, senza però soffermarci sul loro funzionamento, poiché in genere si tratta di circuiti già ampiamente studiati nelle lezioni teoriche o sperimentati nelle lezioni pratiche.

Nella *fig. 7* sono riportati gli schemi di tre alimentatori-raddrizzatori che, insieme con i raddrizzatori a semionda studiati nella seconda esercitazione pratica della *Transistori 2°*, costituiscono gli esempi classici dei circuiti raddrizzatori con diodi a semiconduttori.

Il circuito della *fig. 7-a* rappresenta un raddrizzatore ad onda intera con due diodi (D1 e D2) e con ingresso capacitivo (C) del filtro.



CIRCUITI RADDRIZZATORI

Fig. 7

La resistenza R inserita sul ritorno comune delle correnti serve a proteggere i diodi contro le punte di corrente che si hanno nella fase iniziale del funzionamento, quando il condensatore di filtro è ancora scarico.

Il circuito della *fig. 7-b* rappresenta un raddrizzatore a ponte. Esso è costituito da quattro diodi, perciò sotto questo aspetto è più costoso del precedente; ha però il vantaggio di non richiedere un trasformatore con secondario a presa centrale.

Il circuito della *fig. 7-c* costituisce un raddrizzatore duplicatore di tensione. In questo circuito i due diodi funzionano alternativamente come nel circuito della *fig. 7-a*, ma caricano rispettivamente i condensatori $C1$ e $C2$ al valore di cresta della tensione alternata d'entrata. Poiché i due condensatori sono collegati in serie, le tensioni presenti fra le loro armature si sommano ed all'uscita si ottiene una tensione raddrizzata di valore doppio rispetto a quello che si otterrebbe con un solo condensatore, cioè come nella *fig. 7-a*.

Il duplicatore di tensione era usato nei televisori senza trasformatore adatti per tensioni di rete a 115 V.

Nella *fig. 8* si trova lo schema di principio di un MODULATORE con soppressione della portante in assenza della modulazione; si tratta di un sistema in uso nelle radiotrasmissioni stereofoniche ed in telefonia. In seguito, nelle lezioni teoriche, si presenterà l'occasione di esaminare il circuito ed il suo impiego.

Nella *fig. 9-a* si può vedere un esempio d'impiego del diodo a cristallo nei circuiti di rivelazione e nei circuiti RAG (Regolatore Automatico di Guadagno) dei radoricevitori a conversione di frequenza per modulazione d'ampiezza.

Si osservi che il segnale a radiofrequenza per la rivelazione viene prelevato da una presa intermedia sul secondario del trasformatore TFI, ed analogamente il segnale da raddrizzare per la regolazione automatica del guadagno viene prelevato da una presa intermedia sul primario dello stesso trasformatore TFI attraverso il condensatore $C2$. L'introduzione

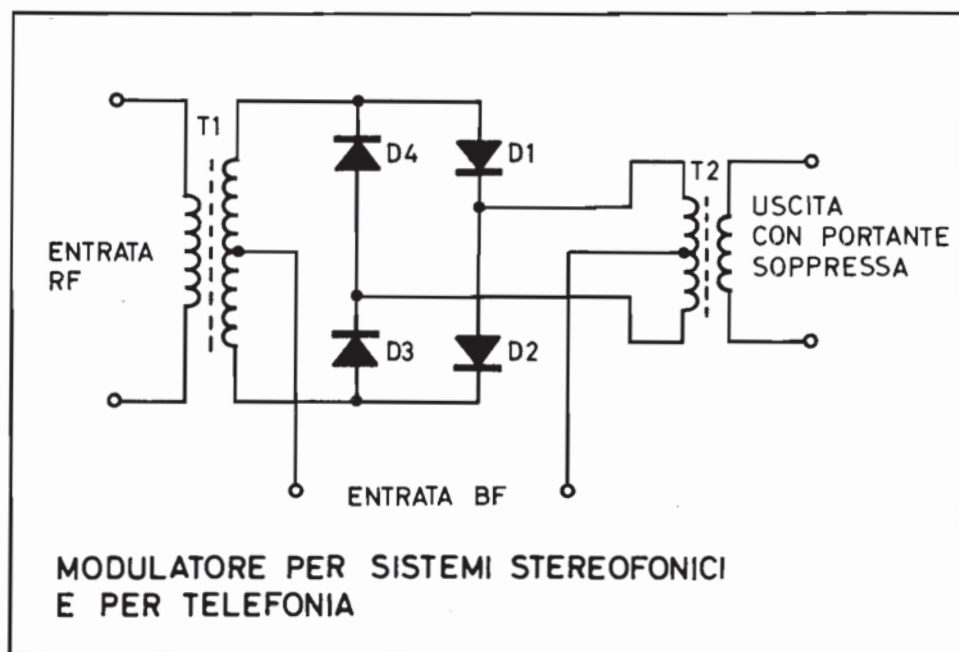


Fig. 8

e l'uso delle due prese intermedie sugli avvolgimenti del trasformatore TFI hanno lo scopo di ridurre al minimo lo smorzamento dei circuiti risonanti dovuto alla bassa resistenza interna dei diodi. Attualmente il circuito RAG separato dal rivelatore, come nella *fig. 9-a*, è poco usato.

Nella *fig. 9-b* è presentato un esempio d'impiego dei diodi a cristallo nel RIVELATORE A RAPPORTO dei radioricevitori per modulazione di frequenza. Il principio di funzionamento di tale circuito sarà illustrato ampiamente nelle prossime lezioni teoriche.

Per ora basti osservare che in questo circuito occorrono due diodi (D1, D2), e si richiede che le caratteristiche di tali diodi siano praticamente uguali; perciò di regola si usano coppie di diodi appositamente selezionate dal costruttore; se un diodo si danneggiasse, non basterà sostituire il diodo guasto, ma bisognerà sostituire entrambi con una nuova coppia.

Finora abbiamo passato in rassegna i circuiti d'impiego classici,

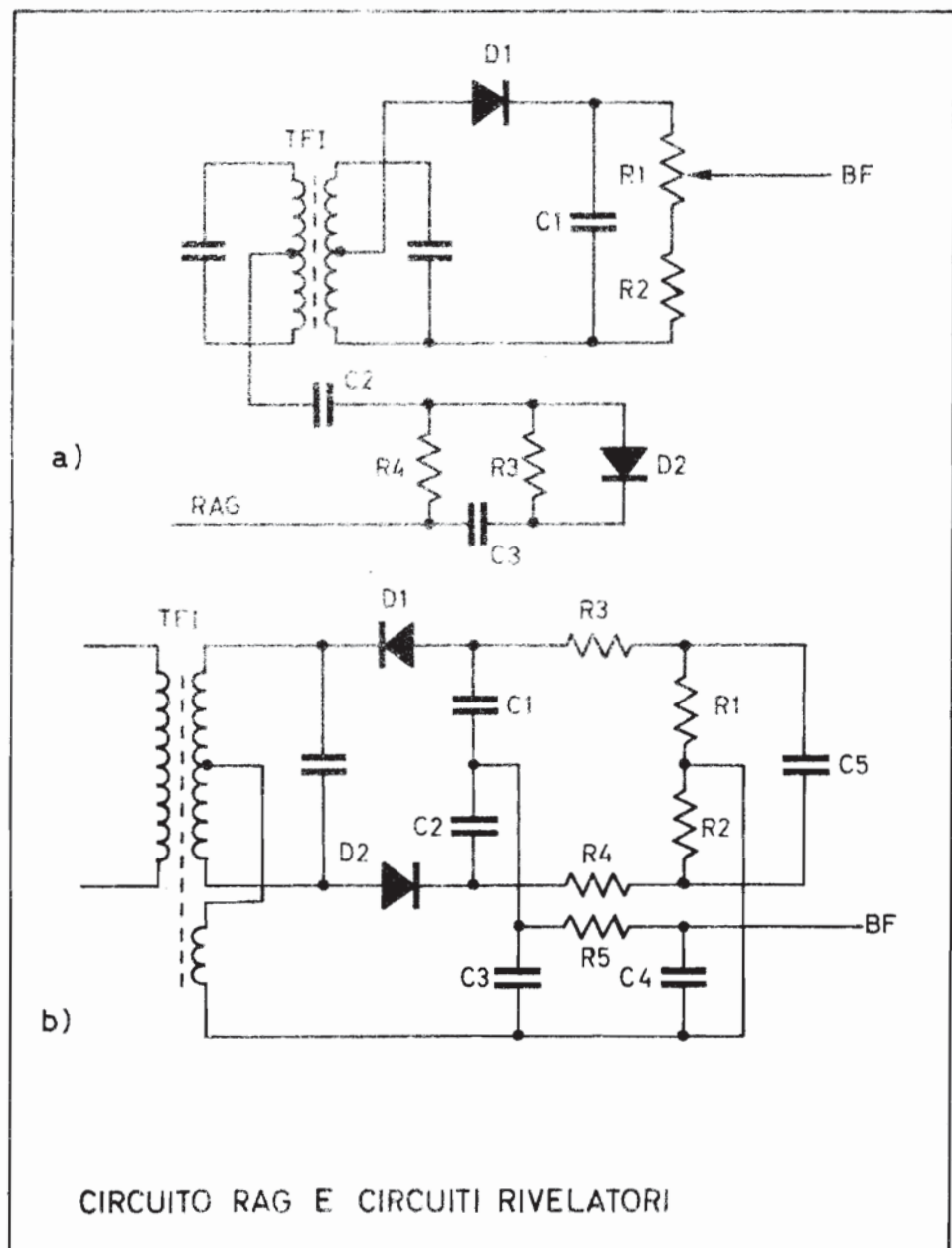


Fig. 9

utilizzati negli apparecchi radio e nei trasmettitori, ma il campo delle applicazioni è molto più esteso: dai raddrizzatori per radioricevitori si potrebbe passare agli alimentatori per accumulatori, ai rigeneratori per pile a secco, agli apparecchi per la metallizzazione dei piccoli oggetti, ecc.; dai rivelatori per radioricevitori si potrebbe passare ai ricevitori per relé, ai ricevitori ad induzione, e così di seguito.

Nella *fig. 10* è riportato, quale esempio di una delle numerose altre applicazioni dei diodi a cristallo, lo schema di un TEMPORIZZATORE. Si tratta di un dispositivo molto semplice, utilizzabile in quegli apparecchi che debbono funzionare per un tempo relativamente breve, di durata prestabilita.

Il diodo (D) serve semplicemente a caricare un condensatore (C), che in genere è di capacità molto grande (maggiore di 1.000 μF).

Quando l'interruttore (I) si trova in posizione 1 il circuito del.

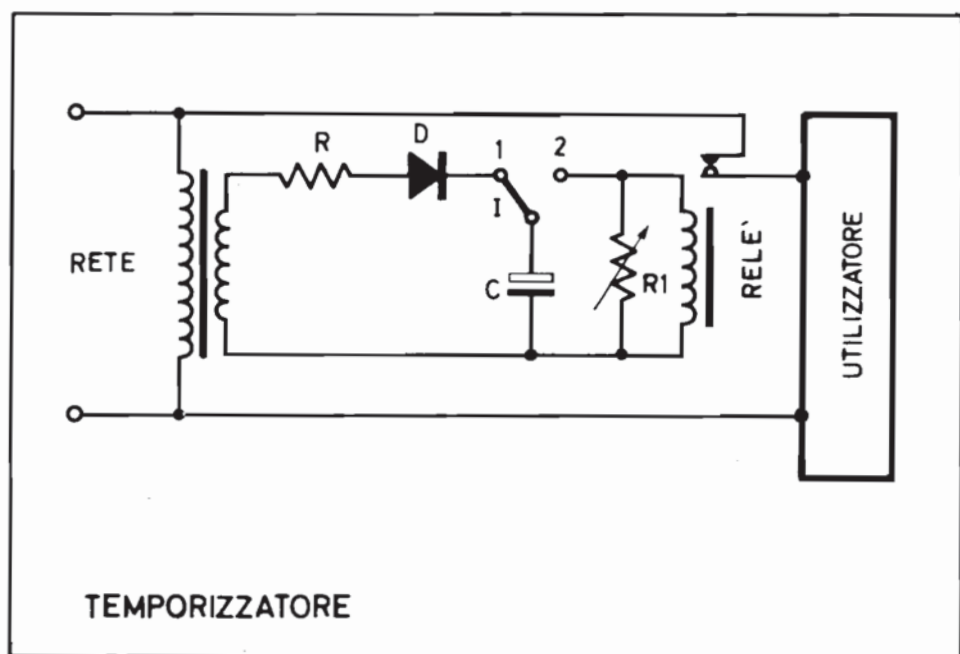


Fig. 10

diode funziona come il raddrizzatore a valore di cresta studiato con la seconda esercitazione pratica della *Transistori 2°*, quindi il condensatore si carica al valore massimo della tensione d'entrata; quando l'interruttore viene spostato dalla posizione 1 alla posizione 2 il condensatore si scarica in parte attraverso il resistore regolabile R1 ed in parte attraverso l'avvolgimento del relé. La corrente, che per un certo tempo circola nell'avvolgimento, mette in funzione il relé e fa sì che l'utilizzatore sia collegato alla rete finché dura la scarica del condensatore. La durata della scarica si può regolare a piacere entro un dato intervallo di tempo aumentando o diminuendo la resistenza di R1 collegato in parallelo all'avvolgimento del relé.

L'argomento dei diodi a semiconduttori sarà concluso con un'esercitazione pratica sull'uso del diodo a cristallo di germanio come rivelatore in un semplice ricevitore del tipo a galena per l'ascolto della stazione locale.

Nella *fig. 11* è riportato lo schema elettrico del ricevitore

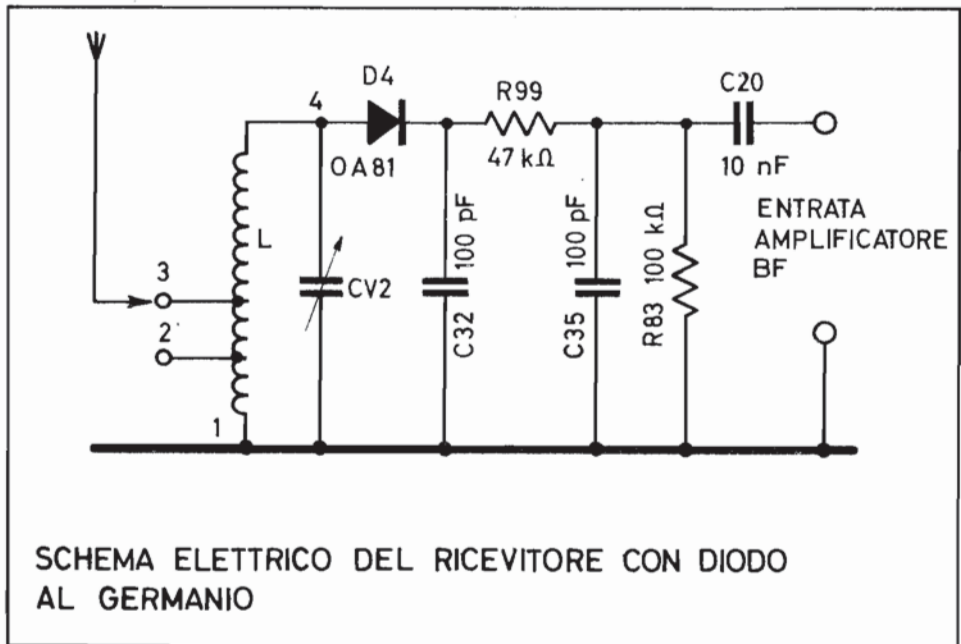


Fig. 11

Il circuito di sintonia è formato dal circuito risonante d'entrata, cioè dalla bobina L e dal condensatore variabile CV2. Con questo sistema non si potrà certo ottenere una selettività soddisfacente, specialmente nelle zone in cui si ricevono con uguale intensità diverse stazioni; tuttavia l'esperienza può essere utile per dimostrare come si possa costruire con pochi componenti, ed economici, un radioricevitore di fortuna simile ai primi radioricevitori. Il rivelatore è simile al circuito dell'esercitazione pratica eseguita nella *Transistori 3^a*.

4. - ESERCITAZIONI PRATICHE

Montaggio del ricevitore con diodo al germanio.

Il montaggio del ricevitore verrà eseguito sul telaio A dal quale deve smontare i due zoccoli portatubo Z1 e Z2 poiché non verranno impiegati nella nuova esercitazione.

Prima di iniziare la costruzione del ricevitore è necessario smontare completamente il circuito realizzato sulla basetta A nella precedente lezione. Dissaldi quindi tutti i componenti e collegamenti dai capicorda della basetta cominciando dal diodo al germanio; naturalmente tutti questi componenti, compreso lo spezzone di filo trecciola nero munito di cocodrillo, devono essere riposti con cura perché saranno ancora utilizzati in seguito. Le due boccole isolate, rossa e nera, devono essere mantenute nella loro posizione.

Terminato il lavoro di smontaggio, la basetta A deve presentarsi come indicato nella *fig. 12*.

Riponga da parte questa basetta in attesa del prossimo impiego e prenda il telaio A.

Inizi il montaggio elettrico del ricevitore attenendosi alle istruzioni che seguono.

a) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il capocorda della boccola nera C e la linguetta del capocorda CA62 della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti.

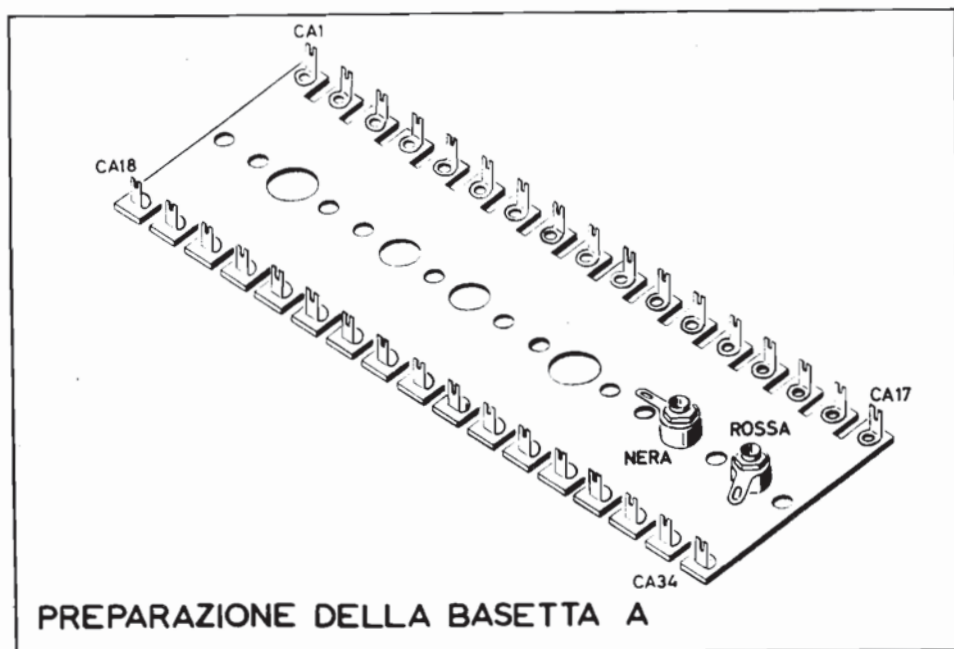


Fig. 12

b) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il capocorda della boccia rossa D e la linguetta del capocorda CA57 della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti.

c) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 2 cm e lo disponga fra il capocorda della boccia rossa E e la linguetta del capocorda CA56 della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda della boccia.

d) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2 cm e lo pieghi ad angolo retto ad una distanza di circa 0,5 cm da entrambi gli estremi, realizzando così un ponticello. Introduca i due estremi piegati ad angolo retto del ponticello negli occhielli dei capicorda CA69 e CA70, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA70.

e) Disponga il condensatore a mica C35 da 100 pF – 1 kVp,

toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA69 e CA71, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche lo spezzone di filo di rame stagnato nudo disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA69.

f) Disponga il resistore ad impasto R83 da $100\text{ k}\Omega - 0,5\text{ W}$, toll. 10% (marrone - nero - giallo, argento) fra le linguette dei capicorda CA69 e CA71, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA69.

g) Disponga il condensatore a carta C20 da $10\text{ nF} - 630\text{ V}$, toll. 20% fra la linguetta del capocorda CA56 della basetta E e la linguetta del capocorda CA71 della basetta F, con l'eventuale lato contrassegnato da un cerchietto nero rivolto verso il capocorda CA71; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA56, bloccando così anche il filo isolato rosso disposto in precedenza.

h) Disponga il resistore ad impasto R99 da $47\text{ k}\Omega - 0,5\text{ W}$, toll. 10% (giallo - violetto - arancio, argento) fra le linguette dei capicorda CA68 e CA71, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA71, bloccando così anche i terminali del resistore R83 e del condensatore C20 disposti in precedenza.

i) Disponga il condensatore a mica C32 da $100\text{ pF} - 1\text{ kVp}$, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA65 e CA68 dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA68.

j) Disponga il diodo al germanio D4 (OA81 o tipi equivalenti) fra le linguette dei capicorda CA64 e CA68 dal lato esterno della basetta F, con il lato contrassegnato (corrispondente al catodo) rivolto verso il capocorda CA68; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA68, bloccando così anche il terminale del resistore R99 precedentemente disposto.

Per completare il montaggio non Le rimane che montare sul telaio il condensatore variabile CV2 e la bobina RF.

k) Monti con la solita tecnica il condensatore variabile CV2 nel foro praticato sul fianco sinistro del telaio, come indicato nella *fig. 13*; in questa figura sono anche riportati tutti i collegamenti finora eseguiti. A fissaggio ultimato il condensatore deve trovarsi in posizione leggermente obliqua per evitare che sporga oltre il bordo superiore del fianco sinistro del telaio.

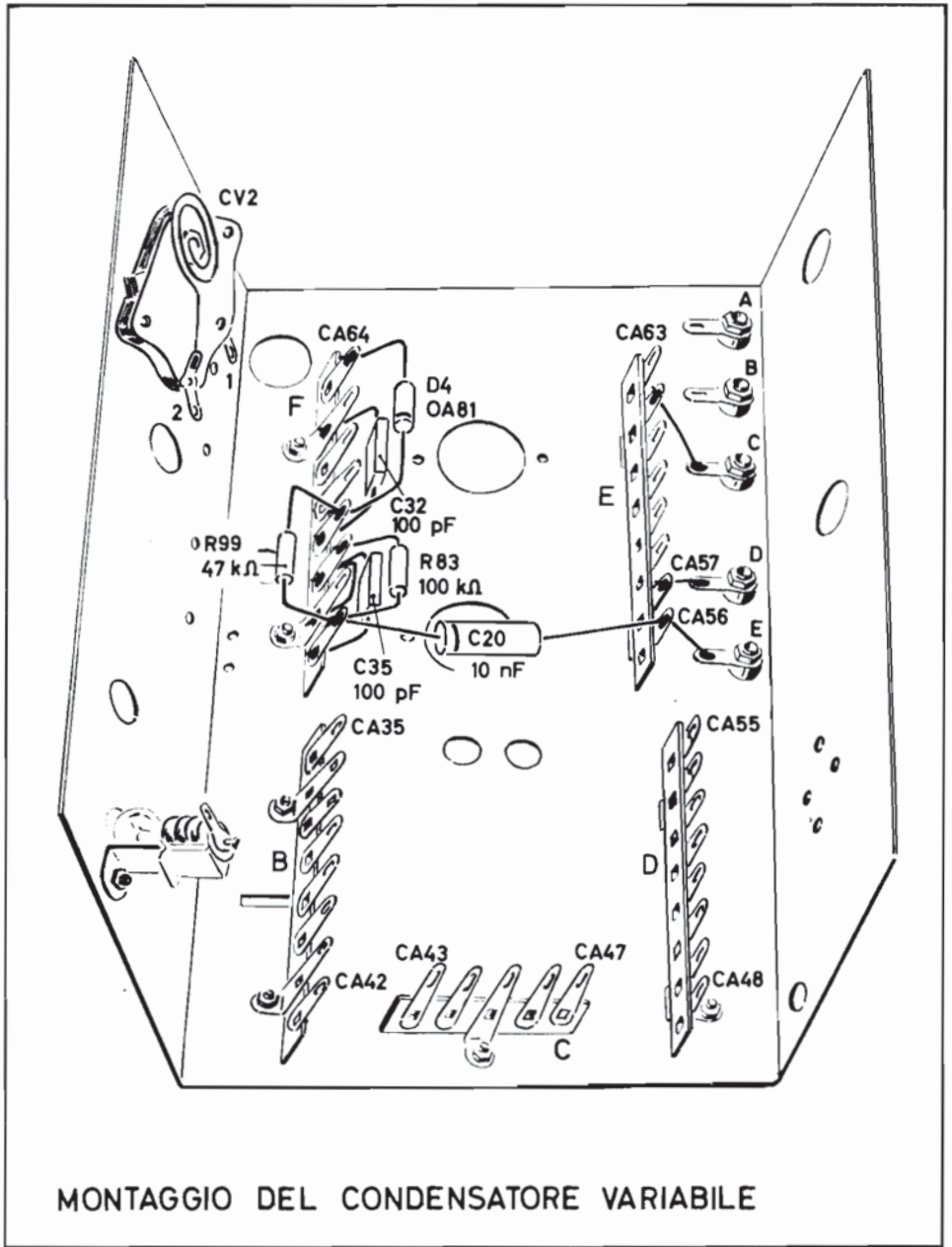


Fig. 13

Fissato il condensatore variabile, è opportuno controllarne subito l'isolamento.

Per eseguire questa prova disponga l'analizzatore come ohmmetro con la portata di $R \times 1.000$ e tocchi con i due puntali i terminali del condensatore. Mantenendo i due puntali a contatto con i terminali ruoti lentamente l'alberino di comando: l'indice dello strumento non si deve spostare.

l) Disponga la bobina RF sul telaio come indicato nella *fig. 14*, in corrispondenza del foro già utilizzato in precedenza per il montaggio della stessa bobina; fissi la bobina con una vite da 3×6 mm ed un dado da 3 MA.

Deve ora controllare con l'ohmmetro la continuità elettrica della bobina RF. Poiché non verrà utilizzato l'avvolgimento di reazione, verificherà con l'ohmmetro solamente l'avvolgimento d'antenna.

Per controllare la continuità dell'avvolgimento della bobina disponga l'analizzatore per la misura di resistenza con la portata di $R \times 10$: deve misurare fra i capicorda 1 e 4 un valore di resistenza compreso fra 2Ω e 4Ω e fra i capicorda intermedi valori più bassi. Se non dovesse rilevare continuità, si accerti che qualche filo dell'avvolgimento non sia dissaldato dal relativo capocorda.

Può ora eseguire il collegamento della bobina RF e del condensatore variabile CV2 al circuito.

m) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 3,5 cm e lo disponga fra l'occhiello del capocorda CA65 della basetta F ed il capocorda 1 della bobina RF; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del condensatore C32 disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA65.

n) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 13,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda della boccola gialla B ed il capocorda 2 della bobina RF; esegua la saldatura su entrambi i punti.

o) Tagli uno spezzone di filo isolato verde lungo 13,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda della boccola verde A ed il capocorda 3 della bobina RF; esegua la saldatura su entrambi i punti.

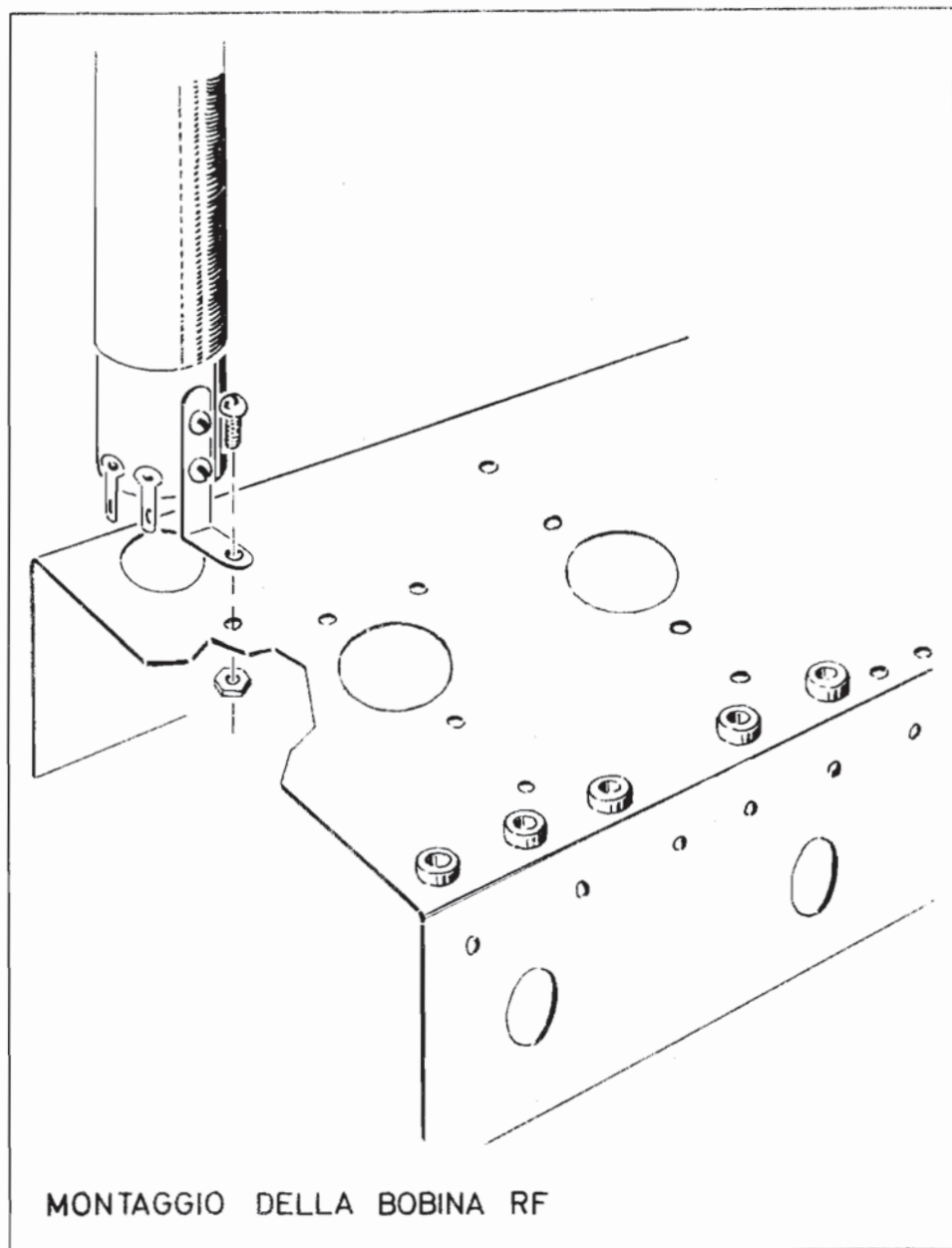


Fig. 14

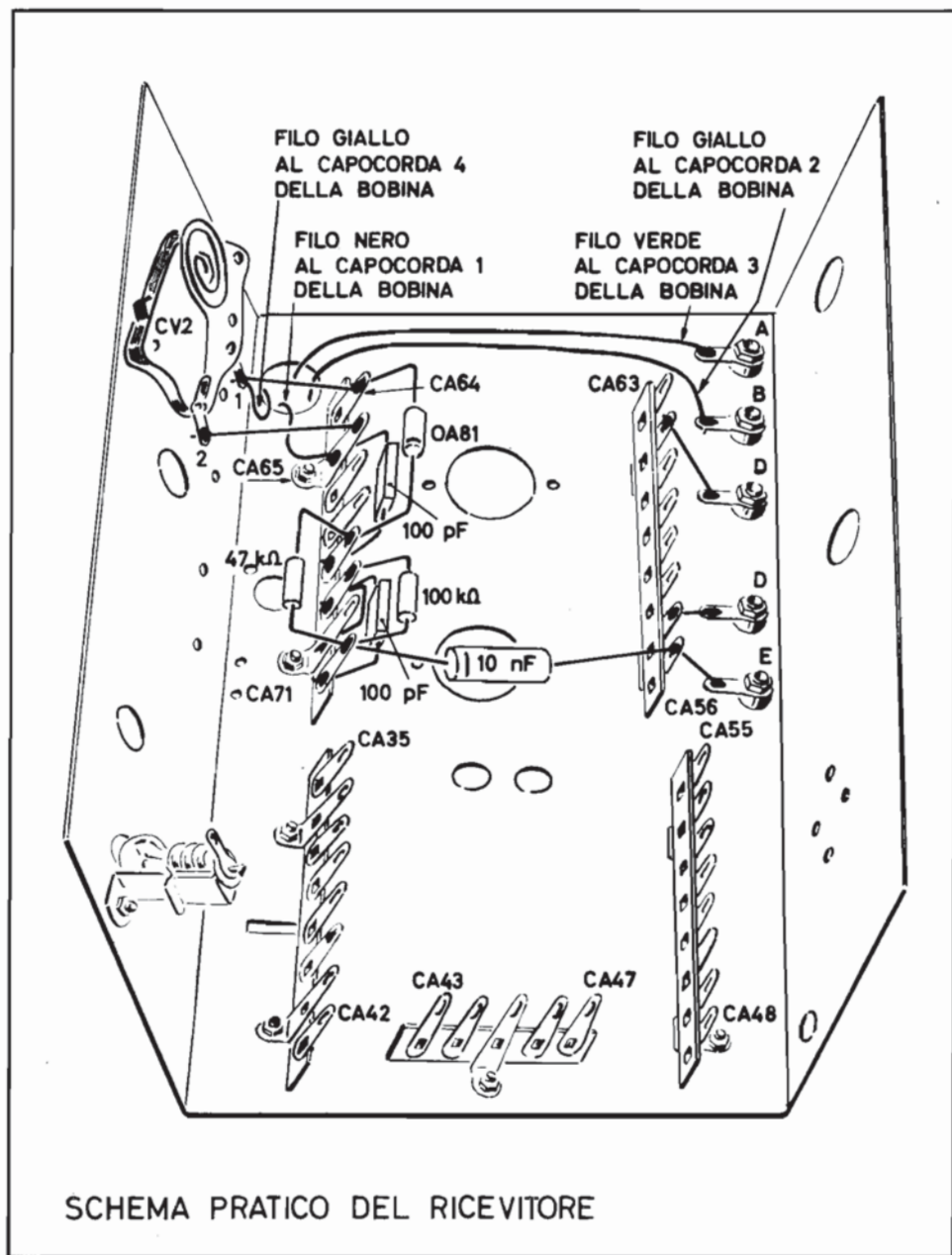


Fig. 15

p) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 5 cm e lo disponga fra il terminale 1 del condensatore variabile CV2 ed il capocorda 4 della bobina RF; esegua la saldatura solamente sul capocorda 4 della bobina.

q) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il terminale 1 del condensatore variabile CV2 e la linguetta del capocorda CA64; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il filo isolato giallo disposto in precedenza sul terminale 1 del condensatore variabile ed il terminale del diodo al germanio disposto sulla linguetta del capocorda CA64.

r) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il terminale 2 del condensatore variabile CV2 e la linguetta del capocorda CA65 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

Il montaggio del ricevitore è così terminato. Verifichi attentamente i collegamenti eseguiti facendo riferimento alla *fig. 15* ed alla *fig. 16*.

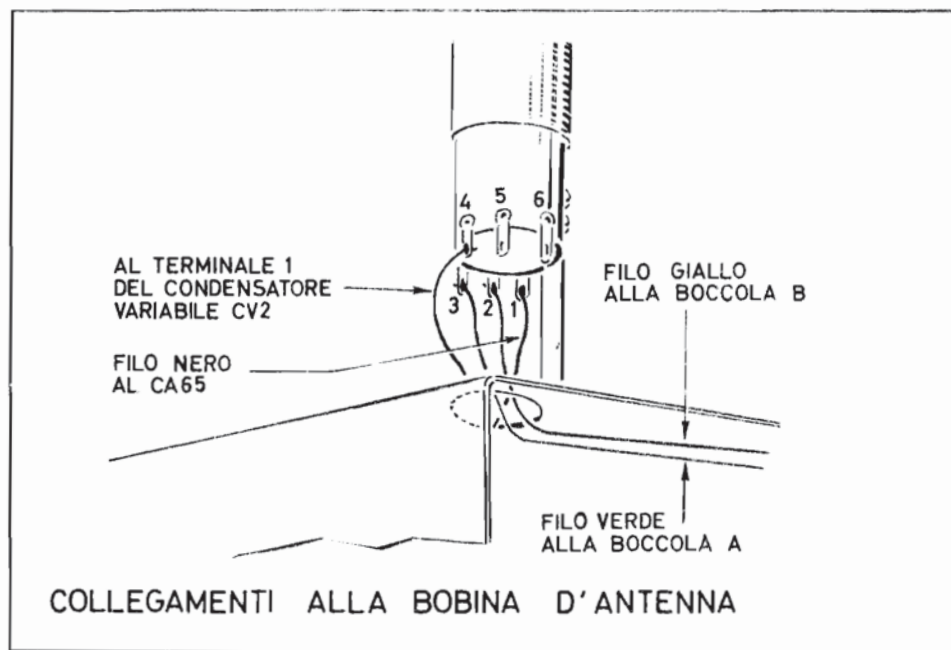


Fig. 16

Può ora accingersi ad effettuare la prova di ricezione.

Per potere ascoltare le emittenti captate dal ricevitore deve collegare l'uscita del ricevitore stesso (boccole rosse D ed E) all'entrata dell'amplificatore BF montato sul telaio B.

Prima però di collegare fra loro i due telai è necessario staccare dall'ingresso dell'amplificatore realizzato sul telaio B il circuito rivelatore, come già fatto nell'esercitazione della *Transistori 3^a*.

Prenda quindi il telaio B ed esegua il lavoro di modifica del circuito secondo le indicazioni qui di seguito riportate.

a) Dissaldi il terminale del condensatore a mica C21 da 500 pF dalla boccola gialla A.

b) Dissaldi il conduttore interno del cavetto schermato dall'occhiello del capocorda CA107 della basetta K.

c) Dissaldi la calza schermante del cavetto dalla linguetta del capocorda CA108 della basetta K.

d) Saldi infine il conduttore interno del cavetto schermato sul capocorda della boccola gialla A e la calza schermante sul capocorda della boccola nera B.

Il circuito deve presentarsi come illustrato nella *fig. 17*.

Può ora collegare fra loro i due telai.

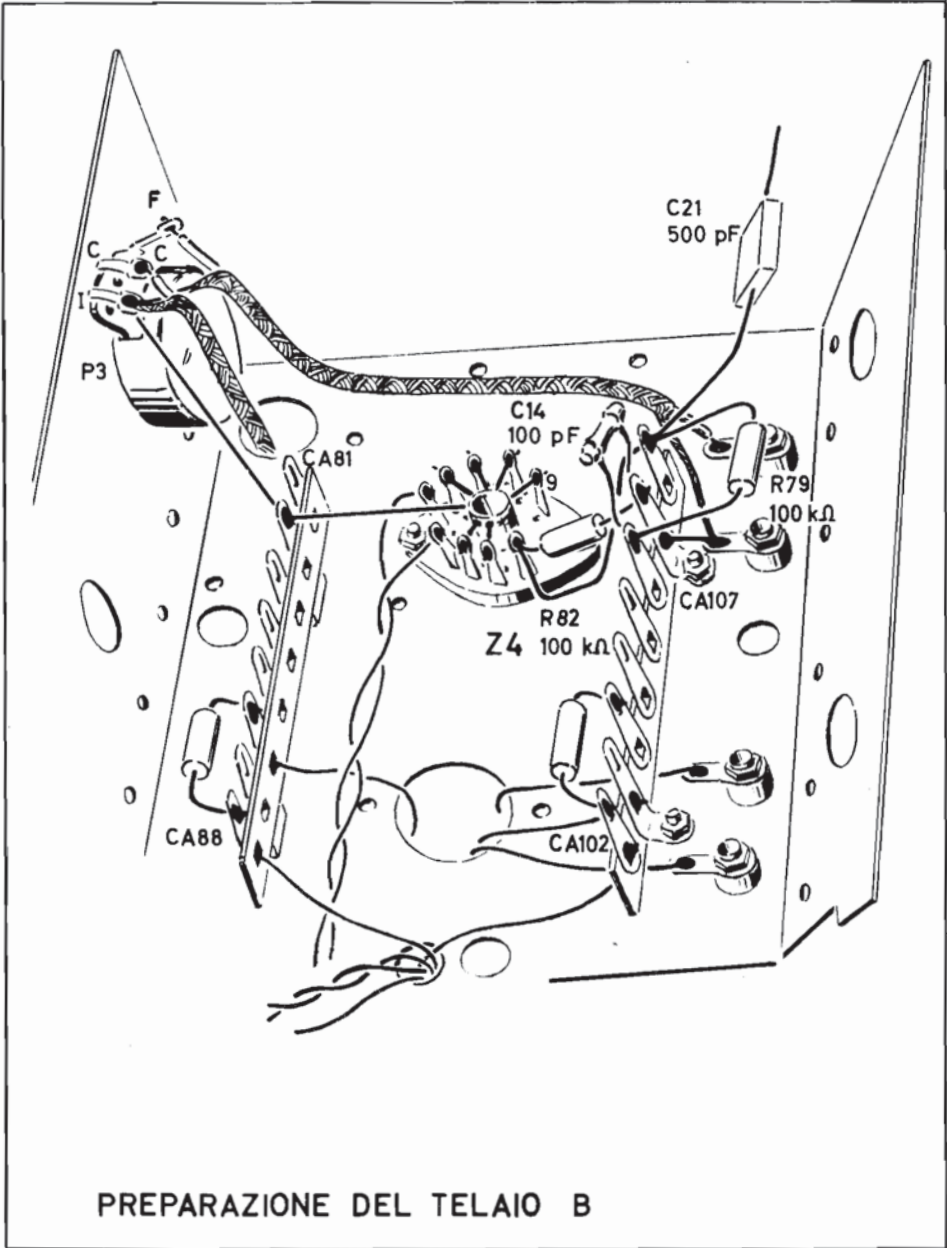
Innesti i tubi EZ81 ed ECL82 nei rispettivi zoccoli portatubo montati sui circuiti stampati del telaio B ed infili a fondo nelle boccole rosse D ed E dello stesso telaio le due banane dell'altoparlante.

Disponga il ricevitore vicino all'amplificatore.

Prenda il cavetto schermato munito ad entrambe le estremità di due banane realizzato nella *Pratica 34^a*.

Innesti la banana rossa posta ad un'estremità del cavetto schermato nella boccola gialla A del telaio B e la banana nera nella boccola nera B.

Innesti la banana rossa situata all'estremità opposta del cavetto schermato nella boccola rossa E del telaio A e la banana nera nella boccola rossa D.



PREPARAZIONE DEL TELAIO B

Fig. 17

I due telai devono risultare collegati fra loro come indicato nella *fig. 18*.

Come già precisato nella *Pratica 34ª*, invertendo fra loro le banane del cavetto schermato rispetto alle boccole d'ingresso dell'amplificatore oppure rispetto alle boccole d'uscita del ricevitore si ha la riproduzione di un forte ronzio.

Collegati fra loro i due telai mediante il cavetto schermato, può eseguirsi la prova di ricezione.

Colleghi alla boccola verde A o gialla B del ricevitore l'antenna che dall'esperienza acquisita con i ricevitori precedentemente realizzati ha riscontrato più adatta.

Data però la scarsa sensibilità del ricevitore ora montato, è possibile ottenere la ricezione delle emittenti solamente impiegando una buona antenna, ad esempio collegando il tappo luce alla boccola gialla B e la presa di terra alla boccola nera C.

Collegata l'antenna, dia tensione all'amplificatore BF e ruoti completamente a destra la manopola del volume (quando avrà sintonizzato l'emittente voluta ridurrà il volume al livello desiderato).

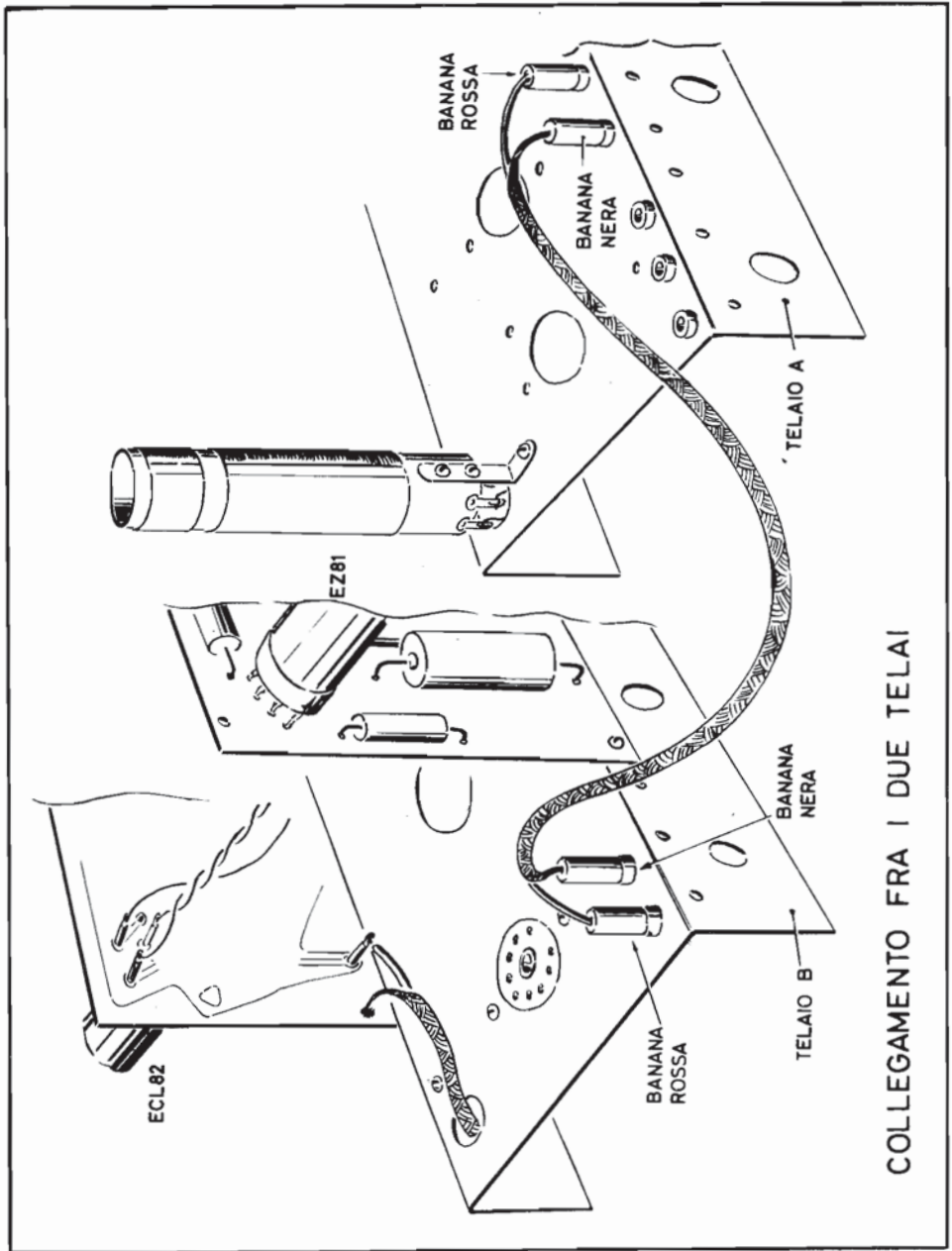
Ruotando lentamente la manopola del condensatore variabile CV2, ad un certo punto deve sentire in altoparlante la trasmissione irradiata in quel momento; ritocchi il condensatore variabile sino ad ottenere la ricezione nitida e forte.

Se risiede in una zona lontana dal trasmettitore o situata in una vallata chiusa fra i monti non potrà ottenere una ricezione chiara ed esente da disturbi, ma dovrà accontentarsi di sintonizzare una sola emittente ed in modo non troppo soddisfacente.

Se invece risiede in prossimità di qualche emittente, potrebbe succederLe di rilevare il fenomeno della sovrapposizione di più emittenti, che a volte si può attenuare riducendo l'efficienza dell'antenna; nella maggior parte dei casi però non è possibile eseguire questa separazione.

Qualora non ricevesse alcuna stazione, si accerti che il tipo di antenna impiegato sia adatto alla zona in cui risiede.

Verifichi inoltre che le banane del cavetto schermato siano inserite



COLLEGAMENTO FRA I DUE TELAI

Fig. 18

a fondo nelle rispettive boccole isolate dei due telai; controlli l'efficienza del diodo al germanio D4 e dell'amplificatore BF.

Ottenuto esito positivo dalla prova di ricezione, spenga l'amplificatore BF; stacchi il cavetto schermato dai due telai e colleghi nuovamente il circuito rivelatore montato sul telaio B all'ingresso dell'amplificatore seguendo le istruzioni di seguito indicate.

a) Dissaldi il conduttore interno del cavetto schermato dal capocorda della boccola gialla A e la calza dal capocorda della boccola nera B.

b) Saldi il terminale del condensatore a mica C21 da 500 pF sul capocorda della boccola gialla A.

c) Saldi il conduttore interno del cavetto schermato sull'occhiello del capocorda CA107 della basetta K e la calza sulla linguetta del capocorda CA108.

Il circuito al termine di queste operazioni si deve trovare nuovamente nelle condizioni in cui era nella *Pratica 37*.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 4^a

1. - La caratteristica diretta del diodo a semiconduttori è simile a quella del diodo elettronico?
 2. - La temperatura ha influenza sulla caratteristica tensione-corrente del diodo a semiconduttori?
 3. - I diodi a cristallo si possono distinguere in base al metodo seguito per formare la giunzione P-N?
 4. - I raddrizzatori al selenio e ad ossido di rame sono diodi a semiconduttori?
 5. - I diodi a semiconduttori si possono usare soltanto nei circuiti d'alimentazione dei rioricevitori?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 3*

1. - La giunzione P-N si ottiene formando con metodi appropriati una zona P in un monocristallo N, o viceversa una zona N in un monocristallo P.
 2. - Si dice *zona d'esaurimento* (traduzione della denominazione inglese depletion region) la zona in cui si esaurisce la spinta delle cariche libere che attraversano la giunzione P-N.
 3. - Si dice *potenziale di contatto* o *potenziale di diffusione* o *barriera di potenziale* della giunzione P-N la differenza di potenziale che si forma lungo lo spessore della zona di esaurimento.
 4. - La giunzione P-N può essere attraversata dalla corrente diretta, che va dall'anodo al catodo, o dalla corrente inversa, che va dal catodo all'anodo.
 5. - No; al termine dei processi di raffinamento dei semiconduttori non si ottengono monocristalli, bensì aggregati solidi, costituiti da innumerevoli cristalli, molto piccoli e variamente orientati; in seguito questi aggregati policristallini vengono trasformati in monocristalli mediante opportuni processi di fusione e ricristallizzazione.
-

(41)

Avendo terminato lo studio dei diodi, ora ci occuperemo del principale dispositivo a semiconduttori, cioè il TRANSISTORE.

Il nome di questo dispositivo deriva dall'inglese *transistor*, che a sua volta trae origine dalla fusione di due altri termini inglesi: *transfer* + *resistor* = *transistor* (*transfer* significa *trasferimento* e *resistor* *resistere*). Il secondo termine sta a ricordare che il transistor è un dispositivo dotato di resistenza elettrica, cioè un resistore; ma è un resistore di tipo tutto particolare, capace di amplificare correnti e potenze elettriche, e quindi di sostituire il tubo elettronico nelle varie applicazioni.

Vedremo in seguito la spiegazione completa del nome, dopo aver esaminato la scoperta dell'effetto fisico dal quale dipende il funzionamento del transistor.

1. - L'EFFETTO TRANSISTORE

Il funzionamento del transistor è dovuto ad una singolare proprietà dei semiconduttori, scoperta casualmente da J. Bardeen e W. H. Brattain nel 1948.

I due fisici lavoravano per la società americana Bell Telephone e stavano conducendo ricerche sui semiconduttori. Fra l'altro si doveva controllare la resistenza elettrica misurabile fra i vari punti delle superfici opposte di un medesimo cristallo semiconduttore (*fig. 1*).

La superficie inferiore del cristallo era fatta aderire perfettamente ad una base metallica, in modo da assicurare un ottimo contatto elettrico. Sulla superficie superiore erano applicate punte metalliche, mobili, destinate a stabilire anch'esse un ottimo contatto elettrico. Fra le punte e la base erano inseriti i misuratori di resistenza (H).

In casi del genere, cioè quando si ha un dispositivo in cui esistano un circuito d'entrata ed un circuito d'uscita e la corrente d'uscita dipenda dalla tensione d'entrata, si può esprimere il legame esistente fra le due grandezze elettriche dividendo la tensione d'entrata per la corrente d'uscita; il rapporto così stabilito costituisce una nuova grandezza, detta RESISTENZA DI TRASFERIMENTO, in inglese TRANSFER RESISTANCE. Dal nome inglese di questa grandezza derivò il nome di *transfer resistor*, usato per indicare il dispositivo che ha una resistenza di trasferimento, e quindi il nome di *transistor*, come già si è visto all'inizio di questa lezione.

Il fenomeno scoperto dai due fisici della Bell Telephone è stato denominato in seguito EFFETTO TRANSISTORE.

Studiando le condizioni che si accompagnano ai fenomeni descritti, si è stabilito che l'effetto transistor è possibile quando si formano due giunzioni P-N in un medesimo cristallo semiconduttore (fig. 2).

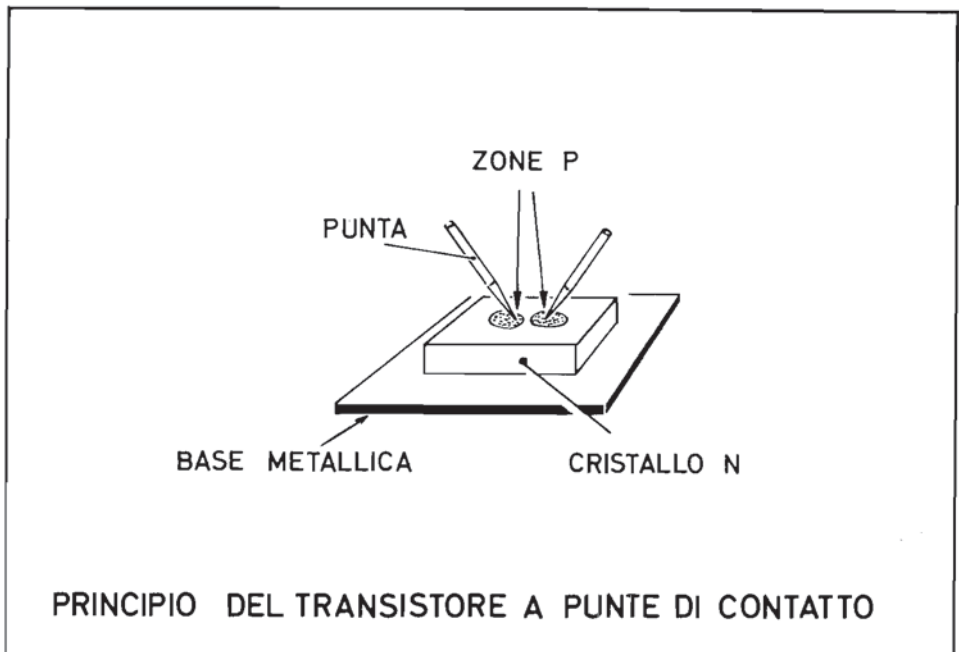


Fig. 2

Ad esempio, se il cristallo è di tipo N, si potrà avere l'effetto transistoro quando nel medesimo cristallo si siano formate due zone P, vicine, ma nettamente separate fra loro.

In questo caso fra le due zone P viene a trovarsi una porzione di semiconduttore N; perciò si hanno due giunzioni P-N: una fra la prima zona P e la zona N intermedia; l'altra fra la seconda zona P e sempre la stessa zona N intermedia.

Per formare le due zone P in uno stesso cristallo N si può ricorrere al sistema della punta metallica, già illustrato nella *Transistori 2'* quando venne presentato il primo tipo di diodo a cristallo. Applicando due punte su un monocristallo semiconduttore N e facendo passare una corrente continua da ciascuna punta al cristallo, fu possibile costruire il primo tipo di transistoro, detto in seguito TRANSISTORE A PUNTE DI CONTATTO, o anche semplicemente TRANSISTORE A PUNTE.

2. - FUNZIONAMENTO DEI TRANSISTORI

Ora studieremo il funzionamento dei transistori in generale, senza far riferimento ai metodi che si possono seguire per ottenere le giunzioni P-N nei cristalli semiconduttori.

Per comprendere i fenomeni che sono alla base dell'effetto transistoro converrà immaginare che il transistoro sia costituito da tre blocchetti di materiale semiconduttore perfettamente cristallizzato: un blocchetto P, aderente ad un blocchetto N, che a sua volta è aderente ad un altro blocchetto P (*fig. 3*); oppure un blocchetto N, aderente ad un blocchetto P, che a sua volta è aderente ad un blocchetto N (*fig. 4*).

Il transistoro costituito da due parti P e da una N viene detto brevemente TRANSISTORE P-N-P; quello costituito da due parti N e da una P viene detto TRANSISTORE N-P-N. Nell'uno e nell'altro caso si hanno sempre due giunzioni P-N aventi in comune le parti N oppure le parti P, come si richiede affinché si produca l'effetto transistoro.

Consideriamo prima il funzionamento del transistoro P-N-P.

Per mettere in risalto i vari aspetti relativi al funzionamento del

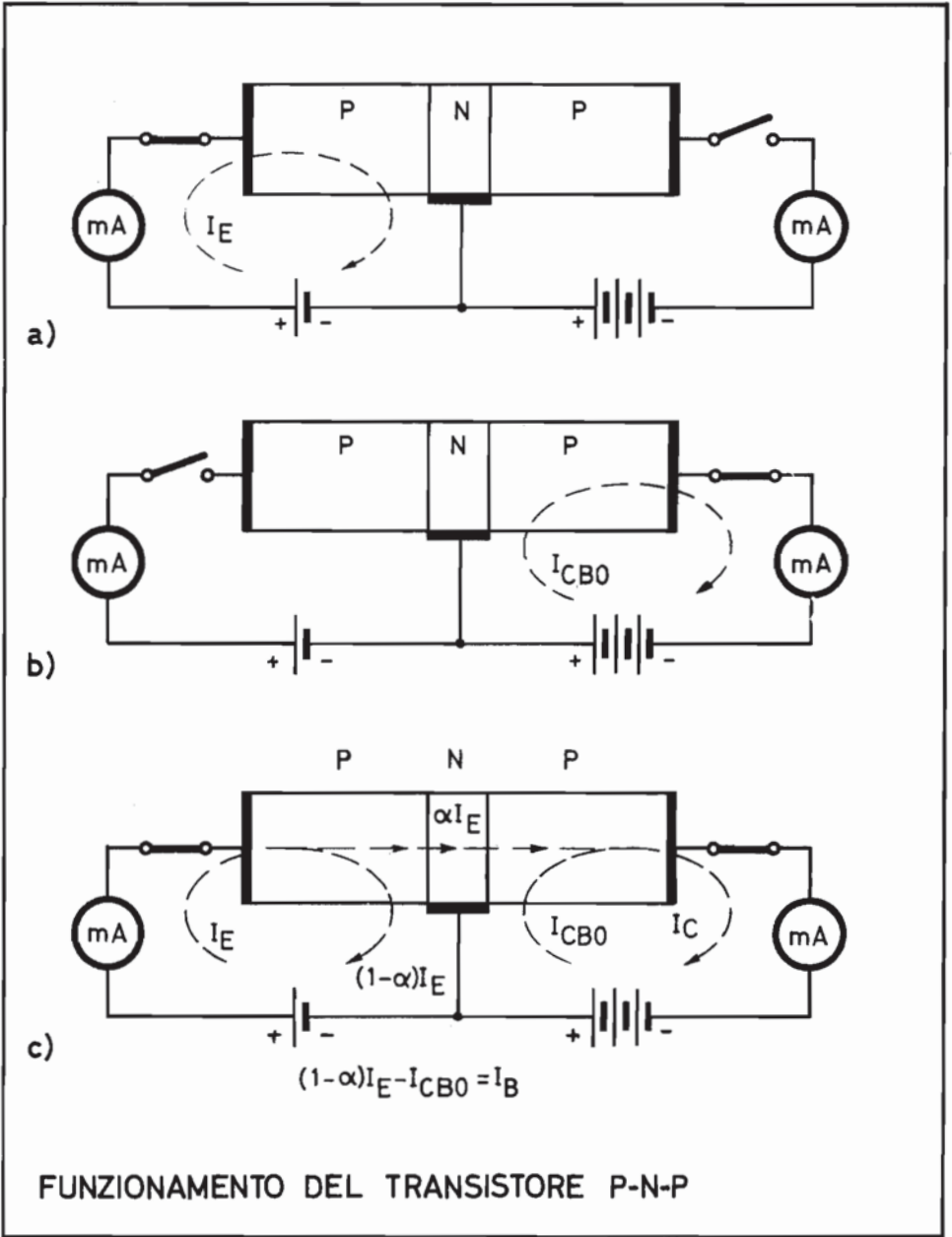


Fig. 3

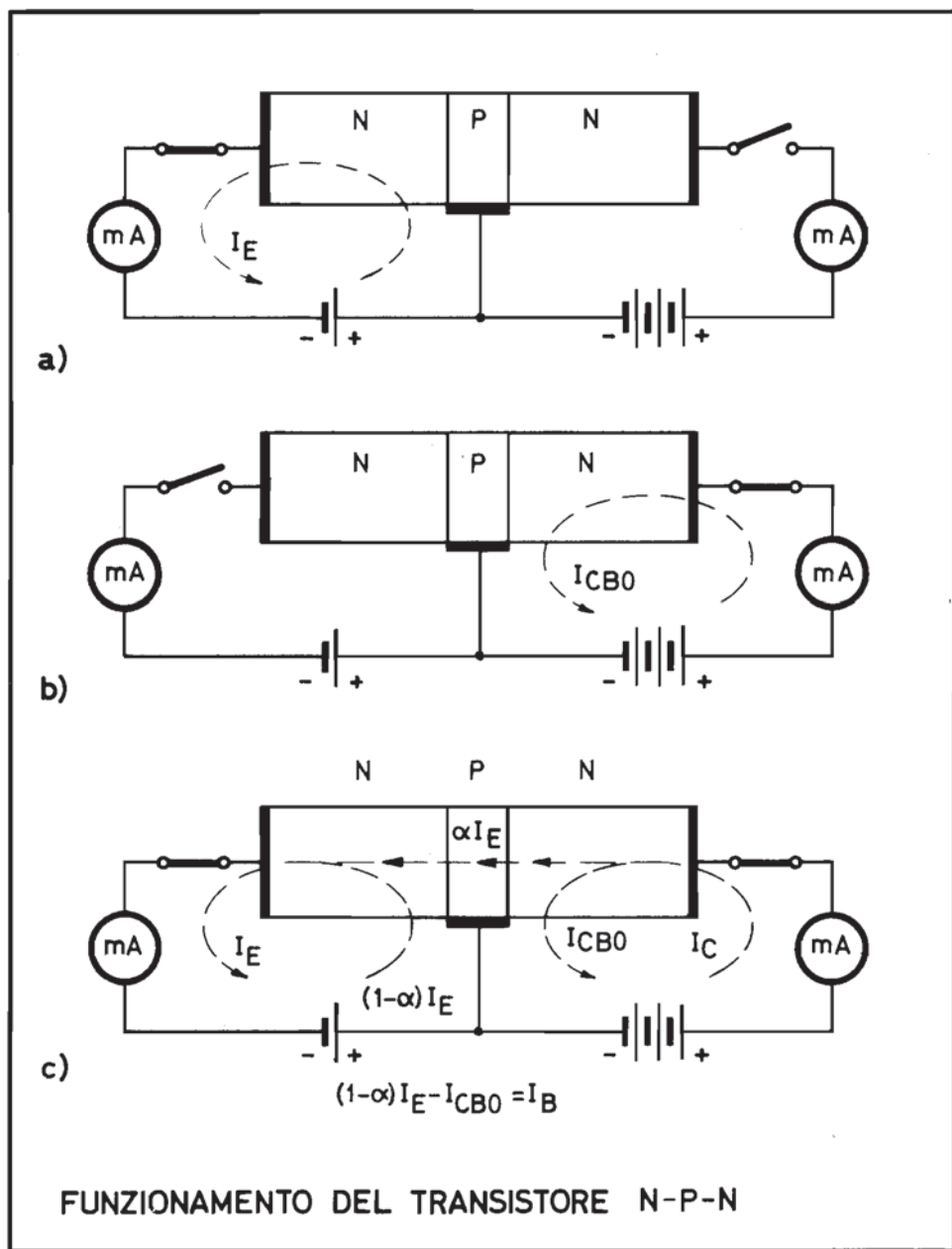


Fig. 4

transistore P-N-P conviene esaminare separatamente i tre circuiti rappresentati nella *fig. 3*.

Nel circuito della *fig. 3-a* si vede una pila collegata al blocchetto N centrale ed al blocchetto P di sinistra attraverso un misuratore di corrente (mA) ed un interruttore. Poiché il positivo della pila è collegato al lato del blocchetto P e quello negativo al lato del blocchetto N, il diodo che si ottiene con la giunzione dei due blocchetti risulta polarizzato in senso diretto, e nel circuito dovrà circolare la *corrente diretta* del diodo, indicata dalla freccia e con il simbolo I_E . Lo strumento di misura serve a rivelare la presenza di questa corrente.

Nel circuito della *fig. 3-b* si vede un'altra pila, collegata anch'essa al blocchetto N centrale ed al blocchetto P di destra attraverso un altro misuratore di corrente (mA) ed un altro interruttore. Il circuito preso in esame in precedenza considerando la *fig. 3-a* ora è aperto.

Il diodo costituito dal blocchetto P di destra e dal blocchetto N centrale in questo secondo caso risulta polarizzato in senso inverso, poiché il positivo della batteria ora è collegato al lato N ed il negativo al lato P. Nel circuito si troverà perciò una debole *corrente inversa*, che indichiamo con il simbolo I_{CB0} ; essa circolerà nel senso della freccia e sarà misurata dallo strumento inserito nel circuito.

Ora supponiamo che siano chiusi entrambi i circuiti esaminati finora. In questo caso potremmo attenderci che insieme alla corrente inversa I_{CB0} riappaia semplicemente la corrente diretta I_E , ed entrambe continuino a circolare nel proprio circuito con la stessa intensità misurata in precedenza. In realtà si osserva che la corrente misurata dallo strumento di destra dopo la chiusura dell'interruttore di sinistra aumenta di un valore praticamente uguale a quello della corrente I_E .

Da questa esperienza risulta evidente l'influenza esercitata dal circuito della corrente I_E sul circuito della corrente I_{CB0} , cioè si notano le conseguenze dell'effetto transistor.

L'influenza però non si manifesterebbe se il blocchetto N centrale avesse uno spessore sufficientemente grande, o se le due giunzioni P-N fossero costituite semplicemente da due diodi a cristallo congiunti fra loro mediante i terminali del catodo; infatti l'effetto transistor si può ottenere soltanto quando le giunzioni sono formate entro un solo cri-

stallo e la zona centrale che si trova tra le medesime giunzioni è abbastanza sottile.

Osservando lo schema della *fig. 3-c* si vede come si possa interpretare l'andamento dei fenomeni.

La corrente I_E si suddivide in due parti: una parte attraversa la zona N centrale e va a sovrapporsi alla corrente I_{CB0} , formando così la corrente I_C misurata dallo strumento di destra; la parte rimanente continua a circolare nel percorso originario della I_E .

Nel tratto comune del collegamento esterno che congiunge le due pile alla zona N centrale del semiconduttore si dovrebbero trovare contemporaneamente due correnti circolanti in senso opposto, cioè una parte della corrente I_E e la corrente I_{CB0} . In realtà, poiché le due correnti sono contrarie, nel tratto comune del collegamento si avrà una sola corrente, di intensità uguale alla differenza delle due, che indichiamo con il simbolo I_B . Il senso della corrente I_B dipende dal valore delle due correnti opposte che la costituiscono, come vedremo in seguito.

La parte della corrente I_E che passa attraverso la zona N centrale ed entra nel circuito della corrente I_{CB0} è indicata nella *fig. 3-c* sotto forma di un prodotto letterale, αI_E dove α (si legge *alfa*) rappresenta un numero poco minore di 1, e I_E rappresenta il valore della corrente misurata dallo strumento di sinistra.

Assegnando ad α un valore poco minore di 1 si vuole indicare che quasi tutta la corrente I_E passa nel circuito della corrente I_{CB0} .

La parte della corrente I_E che continua a circolare nel percorso originario è indicata con il prodotto $(1 - \alpha) I_E$, dove l'espressione $1 - \alpha$ rappresenta un numero molto piccolo, cioè la differenza fra il numero 1 ed il valore del precedente α .

Il fatto che il valore dell'espressione $1 - \alpha$ sia molto piccolo sta ad indicare che la parte di corrente I_E convogliata sul percorso originario è molto piccola; ciò d'altro lato risulta evidente se si ammette che quasi tutta la corrente I_E viene deviata nel circuito della corrente I_{CB0} .

Il valore del coefficiente α che compare nelle due espressioni αI_E e $(1 - \alpha) I_E$ dipende esclusivamente dalle caratteristiche del transistor; in genere è compreso fra 0,92 e 0,99.

Vediamo con un esempio come si possa calcolare il valore di α conoscendo le misure di corrente relative ai circuiti della *fig. 3-b* e della *fig. 3-c*.

La corrente I_{CB0} sia uguale a 0,01 mA; la corrente I_E sia 6 mA e la corrente I_C sia 5,90 mA.

In base a questi dati si può determinare prima il valore della corrente αI_E che passa dal blocchetto P di sinistra a quello P di destra attraversando la zona N intermedia; poi si potrà determinare il valore di α .

La corrente αI_E si calcola sottraendo dal valore della corrente I_C il valore della corrente I_{CB0} :

$$\alpha I_E = 5,90 - 0,01 = 5,89.$$

Il valore di α si ottiene ora dividendo il valore di αI_E per quello della corrente I_E :

$$\alpha = \frac{5,89}{6} \approx 0,98 \text{ (valore abbreviato).}$$

Il numero α viene detto COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE ALFA, poiché esiste una certa relazione fra il suo valore e l'amplificazione del transistor, come si vedrà nella prossima lezione.

Tutte le considerazioni fondamentali fatte per il transistor P-N-P si potrebbero ripetere anche per il transistor N-P-N, con la sola diversità costituita dal fatto che le polarità delle pile debbono essere invertite in accordo con l'inversione delle zone P e N nel semiconduttore; quindi risultano anche invertiti i sensi di circolazione delle varie correnti (*fig. 4a*, *fig. 4b*, *fig. 4c*).

Nella *fig. 5* sono riportati i circuiti dei transistori P-N-P e N-P-N in modo che sia possibile stabilire un confronto diretto fra le rispettive tensioni e correnti.

Osserviamo in primo luogo che alle tre zone del cristallo semiconduttore sono stati assegnati nomi corrispondenti:

— alla zona P di sinistra del transistor P-N-P è stato dato il nome di EMETTITORE e lo stesso nome è stato dato alla zona N di sinistra del transistor N-P-N;

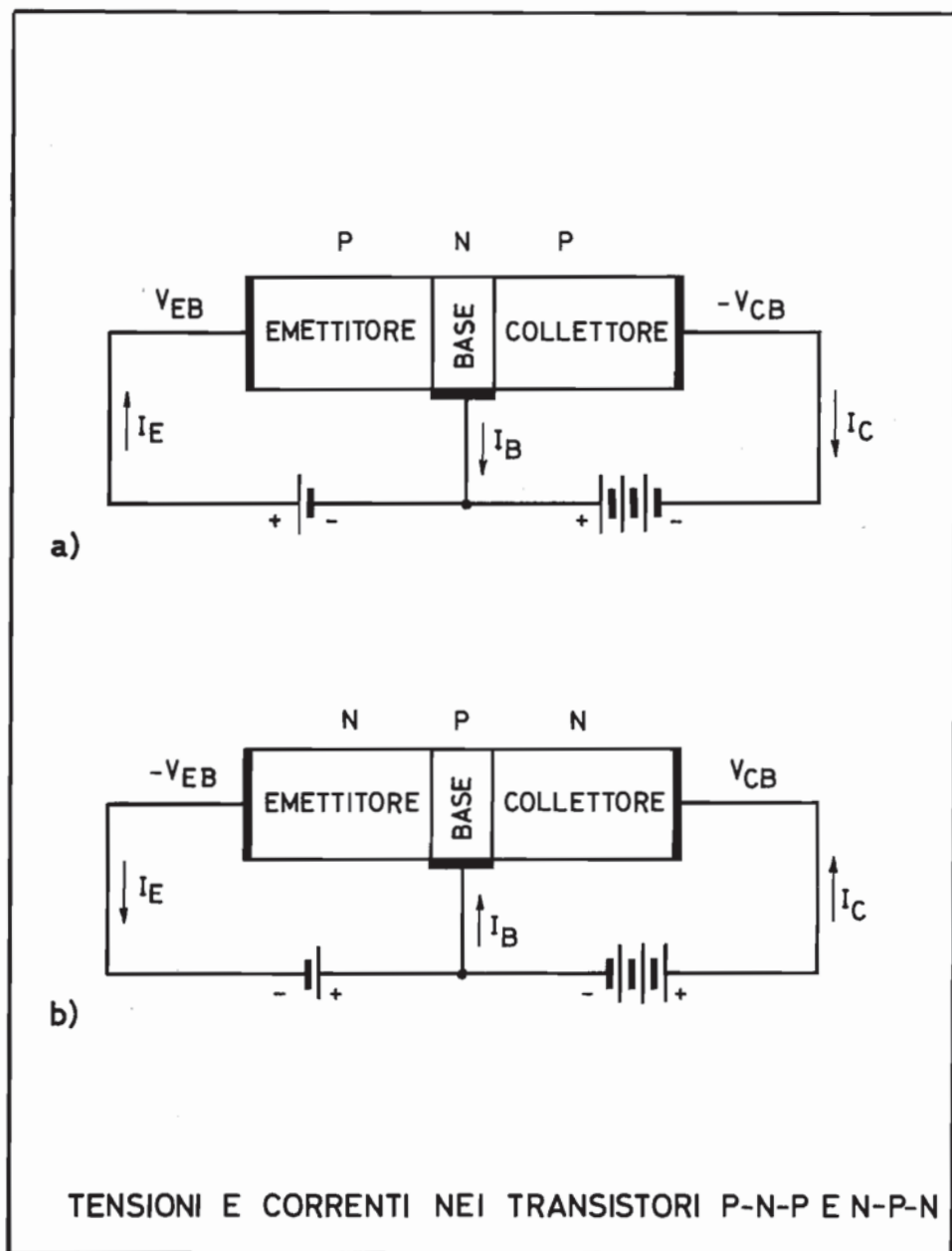


Fig. 5

— alle zone centrali dei due transistori è stato dato il nome di BASE;

— alla zona P di destra del transistor P-N-P ed alla zona N di destra del transistor N-P-N è stato dato il nome di COLLETTORE.

L'emettitore è l'elettrodo al quale viene applicata la tensione di polarizzazione V_{EB} , cioè la tensione positiva rispetto alla base nel transistor P-N-P e quella negativa ($-V_{EB}$) rispetto alla base nel transistor N-P-N.

In questo elettrodo si forma la corrente I_E già considerata in precedenza. Ora si osservi che, come le tensioni d'emettitore sono di segno opposto nei due tipi di transistori, così anche le correnti d'emettitore circolano in sensi opposti.

La base è l'elettrodo centrale, al quale vengono riferite le misure di tensione dell'emettitore e del collettore.

In genere la corrente di base (I_B) del transistor P-N-P e quella del transistor N-P-N circolano nei sensi indicati dalle rispettive frecce; però non è escluso che le stesse correnti possano anche circolare nei sensi opposti.

Quando la corrente $(1 - \alpha) I_E$ è più intensa della corrente I_{CB0} (fig. 3-c, fig. 4-c) il senso della corrente risultante I_B sarà quello indicato nella fig. 5-a per il transistor P-N-P o quello indicato nella fig. 5-b per il transistor N-P-N; viceversa, quando la corrente $(1 - \alpha) I_E$ è minore della corrente I_{CB0} , la corrente I_B risultante assumerà il senso contrario al precedente.

Il collettore è l'elettrodo al quale viene applicata la tensione d'alimentazione V_{CB} , cioè la tensione negativa ($-V_{CB}$) rispetto alla base nel transistor P-N-P e quella positiva rispetto alla base nel transistor N-P-N. Le correnti di collettore (I_C) nei due tipi di transistori circolano in sensi opposti, essendo opposti i segni delle tensioni applicate.

Nella fig. 6 sono rappresentati i segni grafici che saranno usati in seguito per rappresentare i transistori P-N-P e N-P-N negli schemi elettrici.

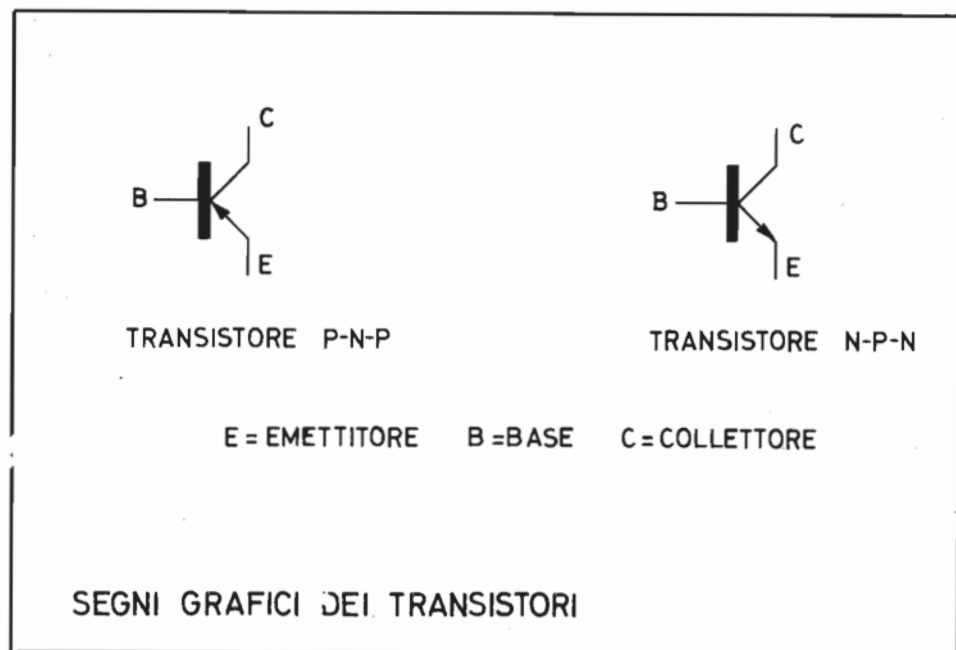


Fig. 6

3.- BARRIERE DI POTENZIALE NEL TRANSISTORE P-N-P

Studiando il funzionamento del transistor P-N-P si è detto che parte della corrente I_E penetra attraverso la zona N centrale e va a sovrapporsi alla corrente I_{CB0} , formando così la corrente I_C (fig. 3-c). Lo stesso fenomeno si produce anche nel transistor N-P-N (fig. 4-c); però nel seguito di questa lezione ci occuperemo soltanto del transistor P-N-P, dato che le spiegazioni relative a questo tipo di transistor sono sostanzialmente valide anche per il tipo N-P-N, e d'altra parte negli apparecchi a transistori di uso generale si impiegano quasi esclusivamente i transistori P-N-P.

L'aspetto singolare del fenomeno, che si produce nei transistori dell'uno e dell'altro tipo, è costituito dal senso di circolazione della corrente I_C nella giunzione P-N fra collettore e base.

Si è già visto che la corrente I_C è costituita dalla corrente I_{CB0} e da gran parte della corrente I_E ; le due correnti si sovrappongono ed attraversano in senso inverso la giunzione collettore-base.

Normalmente la corrente inversa ammessa attraverso una giunzione P-N è relativamente debole, come si è detto studiando il funzionamento dei diodi a cristallo; ora si vede che nella giunzione collettore-base essa può invece acquistare notevole intensità, a causa dell'effetto transistorore.

La spiegazione del fenomeno va ricercata nella distribuzione dei potenziali lungo le giunzioni del transistorore, e nella successiva modifica di questa stessa distribuzione dei potenziali, dovuta alle tensioni di polarizzazione e di alimentazione applicate dall'esterno.

Nella *fig. 7*, sopra lo schema del transistorore P-N-P, è tracciata una curva che rappresenta l'andamento del potenziale V nel semiconduttore.

In corrispondenza con gran parte delle zone P, a destra ed a sinistra

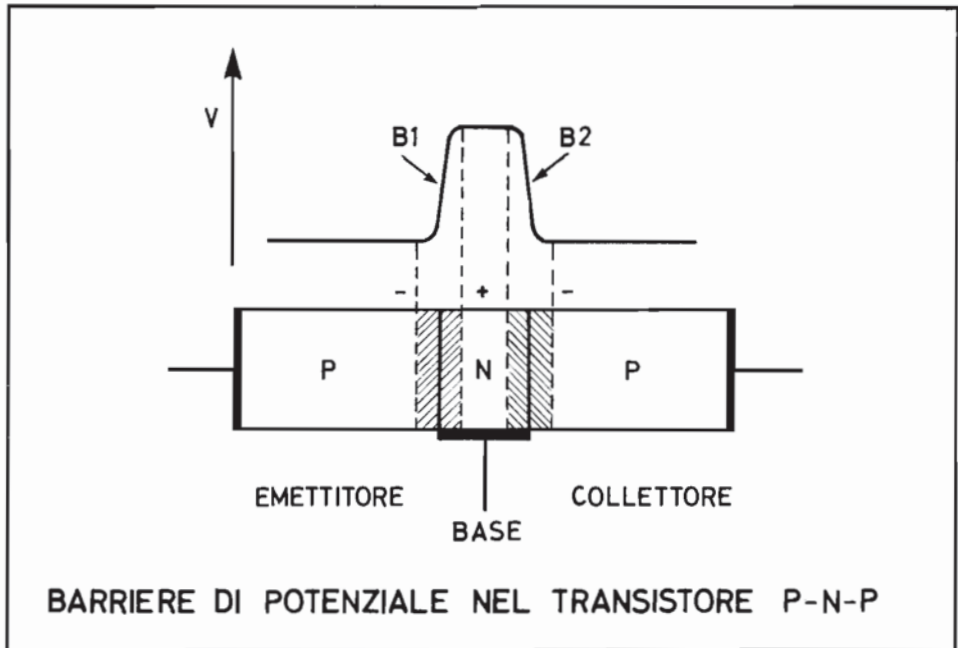


Fig. 7

della zona N centrale, la curva presenta due tratti orizzontali, allo stesso livello; ciò significa che in quelle parti del transistor il potenziale si mantiene allo stesso livello, cioè resta costante passando da un punto all'altro.

La parte tratteggiata, intorno a ciascuna giunzione P-N, rappresenta la regione di esaurimento in cui si forma la barriera di potenziale.

Nella *Transistori 3°* studiando le proprietà della giunzione P-N si è già visto come si formi la regione d'esaurimento e la conseguente barriera di potenziale; quest'ultima dovrà presentare il lato negativo (-) sull'estremità del semiconduttore P ed il lato positivo (+) sull'estremità del semiconduttore N. Ora, mantenendo lo stesso criterio nello stabilire le polarità, in corrispondenza con le regioni di esaurimento presenti intorno alle giunzioni del transistor si sono tracciate le barriere di potenziale B1 e B2.

L'andamento della barriera B1 sta ad indicare che il potenziale V aumenta, prima lentamente, poi rapidamente e poi di nuovo lentamente, passando dal lato P al lato N della giunzione emettitore-base. Analogamente l'andamento della barriera B2 sta ad indicare che il potenziale V diminuisce prima lentamente, poi rapidamente e poi di nuovo lentamente, passando dal lato N al lato P della giunzione collettore-base.

Il potenziale V nella parte centrale dell'elettrodo di base si mantiene praticamente costante intorno al massimo valore.

La distribuzione del potenziale rappresentata nella *fig. 7* si riferisce ad un transistor privo di polarizzazione e di alimentazione; vediamo ora come si modifichi la distribuzione del potenziale in presenza della tensione di polarizzazione, fornita dalla pila B_p , e della tensione di alimentazione, fornita dalla pila B_A , nel circuito della *fig. 8*.

Per effetto della polarizzazione diretta ottenuta con la pila B_p , la regione di esaurimento intorno alla giunzione emettitore-base si è ristretta, e quindi è diminuita l'ampiezza della barriera di potenziale B1; dall'altra parte, per effetto della polarizzazione inversa ottenuta con la pila B_A , la regione di esaurimento intorno alla giunzione collettore-base si è allargata, e quindi è aumentata la barriera di potenziale B2.

Osserviamo l'andamento del potenziale V dall'emettitore al collettore, quale appare dall'andamento del grafico riportato nella *fig. 8*, sopra lo schema del transistor.

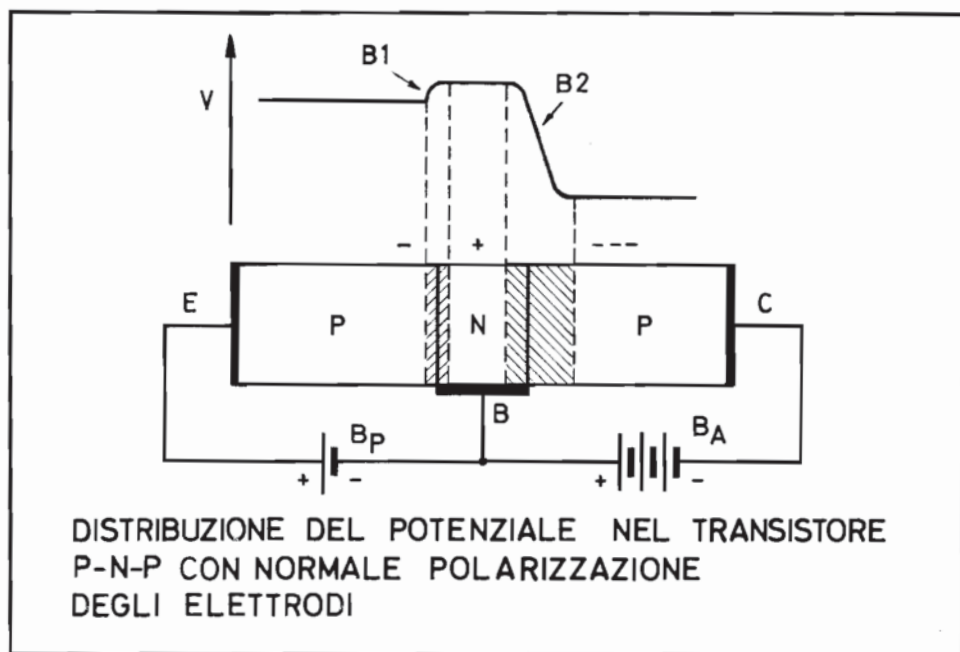


Fig. 8

Il potenziale dell'emettitore (E) si trova ad un livello abbastanza elevato, ma nella regione di esaurimento della giunzione emettitore-base esso aumenta ancora fino a raggiungere un livello leggermente superiore nella zona centrale della base (B).

Il potenziale di base si trova al livello massimo, ma nella regione di esaurimento della giunzione collettore-base esso comincia a diminuire e scende rapidamente nel collettore (C) ad un livello notevolmente inferiore a quello di base ed a quello di emettitore.

In queste condizioni la corrente I_E , che si forma nell'emettitore quando viene aumentata la tensione di polarizzazione, passa attraverso la giunzione emettitore-base, si diffonde nell'elettrodo di base, e da questo fluisce in gran parte nel circuito di collettore a causa del notevole dislivello di potenziale. In ciò si trova la spiegazione intuitiva dell'effetto transistor studiato in precedenza.

Nella prossima lezione riprenderemo lo studio teorico del transistor esaminando il suo funzionamento nei circuiti amplificatori.

4. - ESERCITAZIONI PRATICHE

Le esercitazioni che ora saranno eseguite sono state concepite per mettere in evidenza le proprietà fondamentali dei transistori.

Con la prima esercitazione si constaterà l'esistenza delle due giunzioni P-N in un transistor P-N-P, misurando semplicemente la resistenza diretta ed inversa dei diodi *emettitore-base* e *collettore-base*.

Con la seconda esercitazione si cercherà di determinare sperimentalmente il valore del COEFFICIENTE BETA dello stesso transistor, mediante la misura della resistenza esistente fra collettore ed emettitore nel semplicissimo circuito della *fig. 9*.

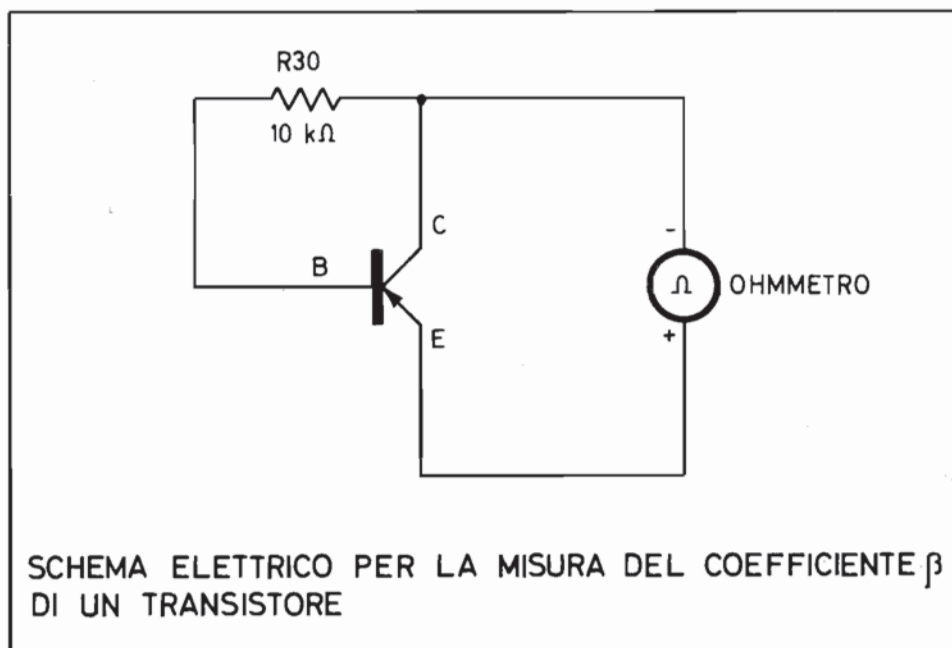


Fig. 9

Il coefficiente beta viene normalmente indicato con il simbolo β (si legge *beta*). Esso esprime il rapporto fra le variazioni della corrente di collettore e le variazioni della corrente di base, cioè indica quante volte sia amplificata la corrente di base del transistor in un particolare circuito che sarà studiato ampiamente nella prossima lezione.

PRIMA ESERCITAZIONE. Misura della resistenza diretta ed inversa fra i terminali di un transistor.

Il transistor che impiegherà nelle esercitazioni è un OC44 oppure uno dei corrispondenti 2G141, SFT308 (= MFT108).

Nella *fig. 10* sono rappresentati i dati per l'identificazione dei terminali di ciascun transistor; inoltre per ognuno dei transistori sono riportate le dimensioni fornite dai costruttori.

Per semplicità nella *fig. 10*, ed in quelle che seguiranno, il terminale di collettore è indicato con la lettera C, quello di base con la lettera B e quello di emettitore con la lettera E.

Nel transistor OC44 i terminali sono tutti allineati; il terminale di collettore è contrassegnato con un punto colorato (generalmente rosso) e la sua distanza dal terminale di base (quello centrale) è maggiore della distanza fra il terminale di emettitore e quello di base.

I terminali del transistor 2G141 sono disposti invece su un arco di circonferenza. Il terminale posto più vicino alla chiavetta è quello di emettitore; procedendo nel senso orario si trovano poi, nell'ordine, il terminale di base ed il terminale di collettore.

Anche i terminali del transistor SFT308 sono situati su un arco di circonferenza, però il terminale di collettore è indicato con un punto colorato; procedendo in senso antiorario si trovano, nell'ordine, il terminale di base ed il terminale di emettitore.

Infine, nel tipo MFT108 i tre terminali sono allineati come nel tipo OC44; il terminale di collettore è contrassegnato con un punto colorato; la distanza fra questo terminale ed il terminale di base è maggiore della distanza fra il terminale di emettitore e quello di base.

Identificati i terminali del transistor ricevuto, può accingersi ad eseguire l'esercitazione, che consiste nel misurare con l'ohmmetro la

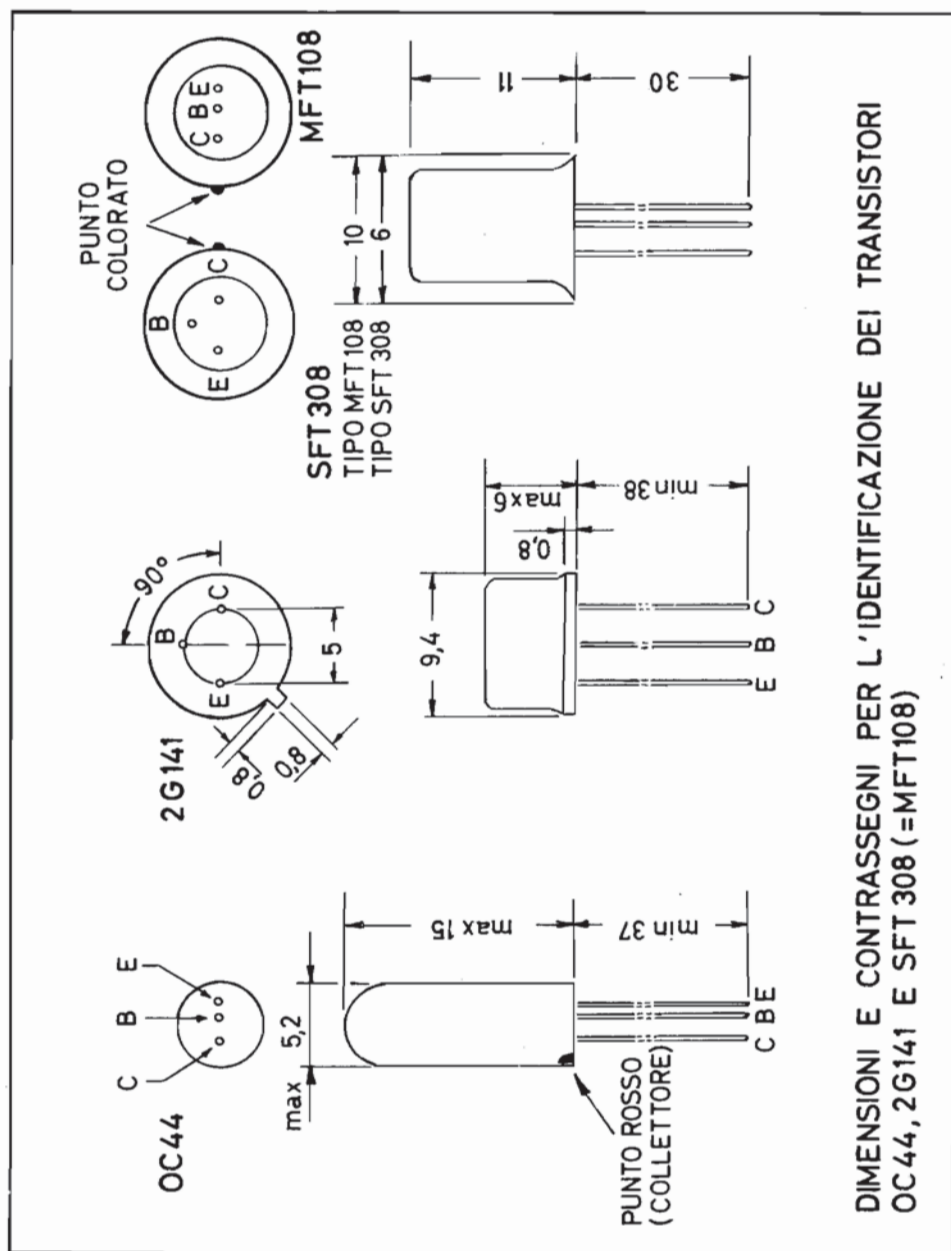


Fig. 10

resistenza diretta ed inversa fra i terminali di collettore e di base e fra i terminali di base e di emettitore.

Per potere eseguire comodamente queste misure è opportuno saldare i terminali del transistor a tre capicorda della bassetta A.

Dovrà usare particolare attenzione nell'eseguire la saldatura dei terminali, per evitare che l'eccessivo calore possa danneggiare il transistor. Per non riscaldare eccessivamente il transistor durante la saldatura è sufficiente serrare con le pinze ciascun terminale tra il corpo del transistor ed il punto di saldatura, come già fatto in precedenza con il diodo al germanio, nel modo indicato nella *fig. 11*: si disperde in tal modo il calore del saldatore e si evita quindi che il componente si danneggi.

Nel maneggiare il transistor deve fare molta attenzione a non fargli subire urti o sollecitazioni meccaniche che potrebbero danneggiarlo irreparabilmente.

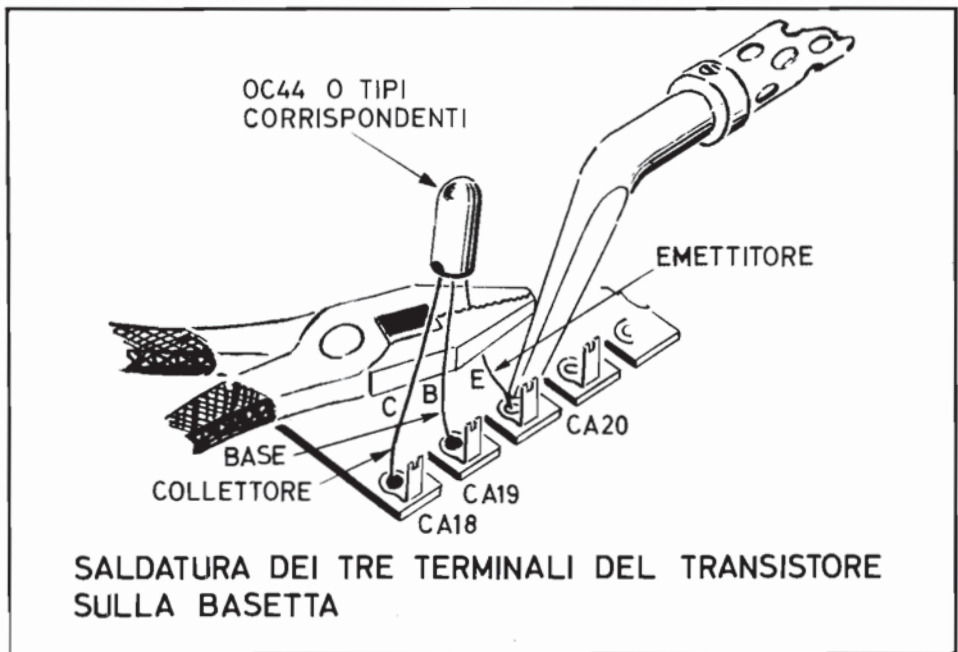


Fig. 11

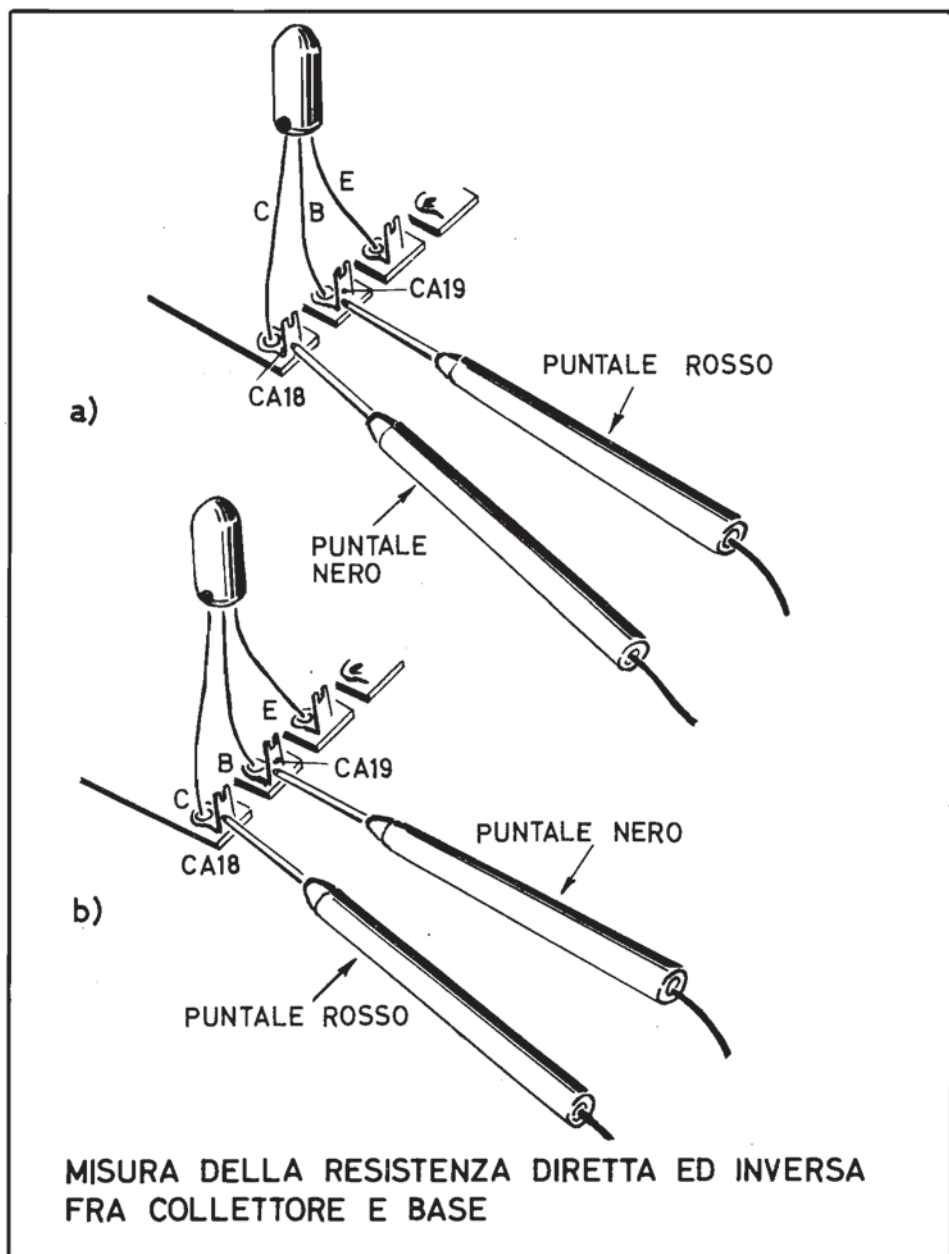


Fig. 12

Tenendo presente i suggerimenti ora forniti esegua il collegamento del transistor alla basetta.

Disponga il terminale del collettore nell'occhiello del capocorda CA18, quello di base nell'occhiello del capocorda CA19 e quello di emettitore nell'occhiello del capocorda CA20; esegua la saldatura dei tre terminali (*fig. 11*).

A saldatura ultimata verifichi che i tre terminali del transistor risultino ben distanziati tra loro; nell'eventualità che due terminali dovessero risultare a contatto, li distanzi con l'ausilio della punta del cacciavite.

Disponga, ora, l'analizzatore per la misura di resistenza con la portata $R \times 1.000$; porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA18 (collettore) ed il puntale rosso a contatto con il capocorda CA19 (base) (*fig. 12-a*): l'indice dello strumento deve indicare un valore di resistenza compreso fra alcune centinaia di ohm e $2 \text{ k}\Omega$ circa (resistenza diretta).

Inverta la posizione dei puntali, cioè metta il puntale rosso a contatto con il capocorda CA18 (collettore) ed il puntale nero a contatto con il capocorda CA19 (base) (*fig. 12-b*): l'indice dello strumento deve indicare un valore infinito di resistenza (cioè non deve muoversi dalla posizione di riposo o tutt'al più spostarsi leggermente da tale posizione).

Può ora eseguire il controllo della seconda coppia di terminali.

Porti il puntale nero dell'ohmmetro a contatto con il capocorda CA20 (emettitore) ed il puntale rosso a contatto con il capocorda CA19 (base) (*fig. 13-a*): l'indice dello strumento deve indicare un valore di resistenza diretta all'incirca uguale a quello misurato prima.

Inverta ora i puntali, e cioè porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA19 (base) ed il puntale rosso a contatto con il capocorda CA20 (emettitore) (*fig. 13-b*): l'indice dello strumento deve indicare un valore infinito di resistenza (resistenza inversa).

Resta così dimostrato che le due coppie di terminali, collettore-base ed emettitore-base, costituiscono due diodi al germanio.

SECONDA ESERCITAZIONE. Misura del coefficiente β di un transistor.

Come avrà rilevato dallo schema della *fig. 9*, il circuito per la misura del coefficiente β è molto semplice.

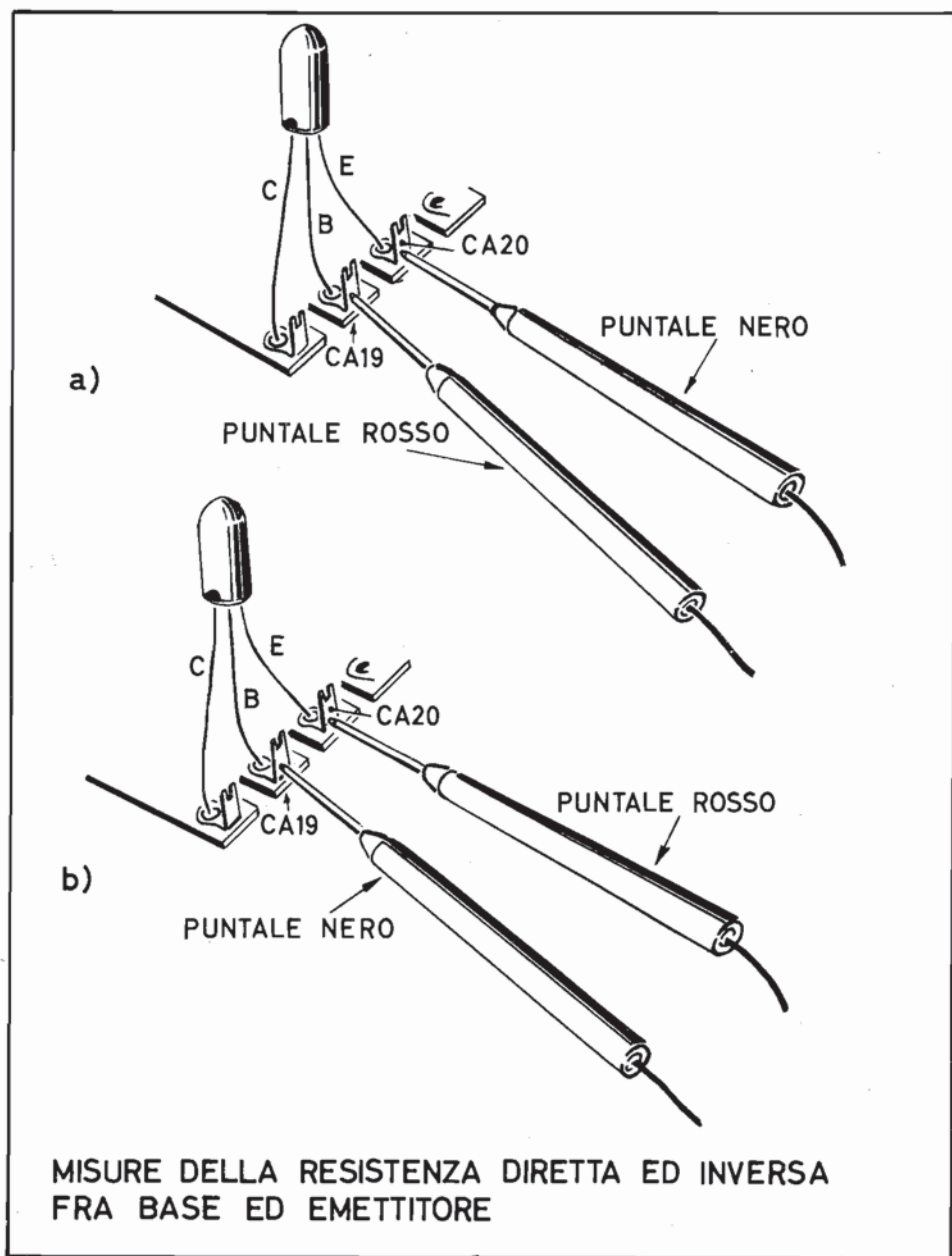


Fig. 13

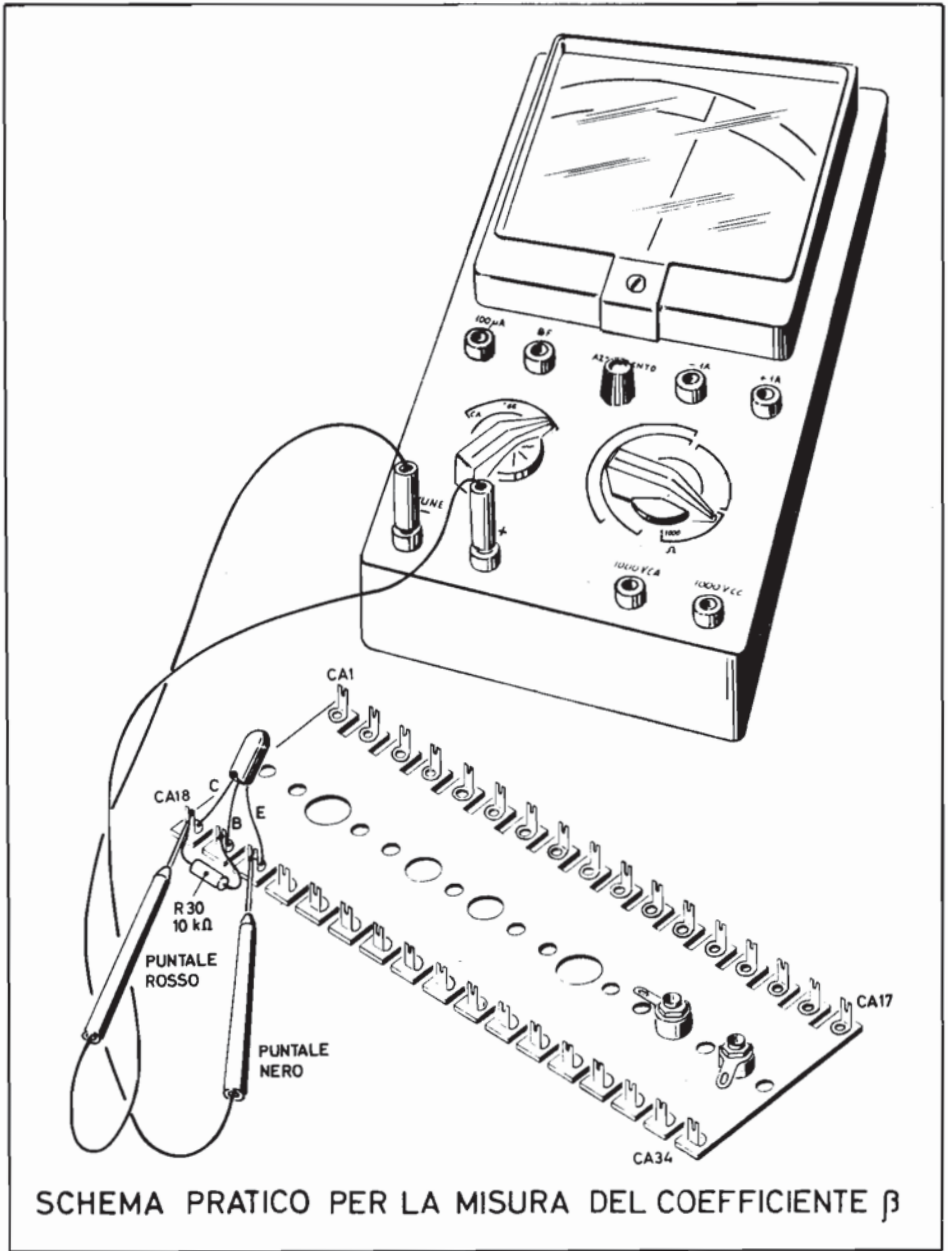


Fig. 14

Come prima operazione deve saldare al collettore del transistoro un resistore da 10 k Ω .

Saldi quindi sulla linguetta del capocorda CA18 un terminale del resistore ad impasto R30 da 10 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento); l'altro terminale del resistore non deve per ora essere saldato.

Può quindi procedere alla misura del coefficiente β .

Disponga l'ohmmetro con la portata $R \times 10$; porti il puntale rosso a contatto con il capocorda CA18 (collettore) ed il puntale nero a contatto con il capocorda CA20 (emettitore): l'indice dello strumento non si deve spostare dalla posizione di riposo.

Saldi ora alla linguetta del capocorda CA19 il terminale libero del resistore R30 da 10 k Ω .

Porti nuovamente il puntale rosso dell'ohmmetro a contatto con il capocorda CA18 ed il puntale nero a contatto con il capocorda CA20 (*fig. 14*): l'indice dello strumento deve indicare un valore di resistenza compreso fra 100 Ω e 300 Ω .

Per conoscere il valore del coefficiente β è sufficiente dividere il valore del resistore R30 da 10.000 Ω , collegato fra il collettore e la base, per il valore indicato dall'ohmmetro.

Se, ad esempio, il valore di resistenza indicato dallo strumento è di 200 Ω , si divide 10.000 per 200: si ottiene così un coefficiente $\beta = 50$.

Il coefficiente β può variare sensibilmente da transistoro a transistoro; infatti si hanno transistori con $\beta = 30$ ed altri, pure dello stesso tipo, con $\beta = 100$ od anche più. Per questo motivo il valore di resistenza che può misurare con l'ohmmetro fra il collettore e l'emettitore è compreso fra limiti abbastanza ampi (100 Ω e 300 Ω).

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 5*

1. - In che cosa consiste l'effetto transistoro?
 2. - Quante giunzioni P-N si trovano nel transistoro?
 3. - Come è costituito il transistoro P-N-P?
 4. - Come è costituito il transistoro N-P-N?
 5. - Che cosa esprime il prodotto letterale αI_E ?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 4*

1. - Sì, la caratteristica diretta del diodo a semiconduttore può essere considerata praticamente simile a quella del diodo elettronico.
 2. - Sì, la temperatura esercita una notevole influenza sull'andamento della caratteristica tensione-corrente del diodo a semiconduttori; perciò i costruttori dei diodi insieme con la caratteristica precisano anche i valori della temperatura alla giunzione, della temperatura ambientale, o della temperatura del contenitore.
 3. - I diodi a cristallo, in base al metodo di formazione della giunzione P-N, si possono distinguere in diodi a punta di contatto, diodi a giunzione di lega, diodi a diffusione.
 4. - I raddrizzatori al selenio e ad ossido di rame sono diodi a semiconduttori di tipo particolare.
 5. - No, i diodi a semiconduttori si possono usare in tutti i circuiti in cui si impiega il diodo elettronico.
-

(42)

Nella lezione precedente si è visto in generale come funzionino il transistoro; ora studieremo i circuiti fondamentali dei transistori e le caratteristiche di funzionamento.

1. - CIRCUITI FONDAMENTALI DEI TRANSISTORI

Per studiare i circuiti elettrici dei transistori non è necessario conoscere come si svolgono i fenomeni nei semiconduttori: basta considerare il transistoro alla stregua di una SCATOLA CHIUSA, alla quale siano fornite tensioni e correnti d'entrata per ottenere tensioni e correnti d'uscita (*fig. 1-a*).

Le scatole chiuse di questa specie di solito sono immaginate per semplificare lo studio delle reti elettriche provviste di un circuito d'entrata e di un circuito d'uscita. In genere queste scatole sono dotate di quattro morsetti o terminali esterni: due d'entrata e due d'uscita.

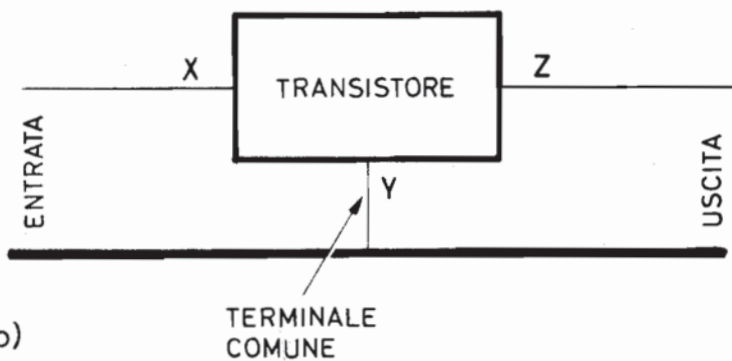
Ai terminali d'entrata si applica la TENSIONE D'ENTRATA, V_e , che fa circolare la CORRENTE D'ENTRATA, I_e ; ai terminali d'uscita si trovano la TENSIONE D'USCITA, V_u , e la CORRENTE D'USCITA, I_u , dipendenti dalla tensione e dalla corrente d'entrata.

I dispositivi così formati, che assorbono potenza fra due terminali d'entrata e forniscono potenza fra due terminali d'uscita, sono detti in generale QUADRIPOLI.

A prima vista il transistoro non sembra paragonabile ad un quadripolo, poiché dispone soltanto di tre terminali invece di quattro; ma se uno dei tre terminali (cioè quello indicato con la lettera Y nella *fig. 1-b*) viene messo in comune fra il circuito d'entrata e quello d'uscita, anche il transistoro diventa un quadripolo.



a)



b)

QUADRIPOLO E TRANSISTORE

Fig. 1

Nella *fig. 1-b* i terminali del transistor sono indicati genericamente con le lettere X, Y e Z, perché finora non si è precisato quali siano i terminali d'entrata e d'uscita, cioè non si è detto come vengano collegati l'emettitore (E), la base (B) ed il collettore (C), né quale sia il terminale in comune fra l'entrata e l'uscita.

Poiché gli elettrodi del transistor sono tre, è evidente che si possono realizzare almeno tre diverse connessioni, ciascuna delle quali si distinguerà per l'elettrodo comune prescelto.

Nella *fig. 2* sono rappresentati i tre circuiti fondamentali che si possono realizzare con i transistori, adottando rispettivamente la connessione AD EMETTITORE COMUNE, quella A BASE COMUNE e quella A COLLETTORE COMUNE.

In questi tre circuiti il *generatore di corrente alternata* rappresenta la sorgente delle tensioni e delle correnti d'entrata; la resistenza R_L rappresenta il carico esterno, cioè l'*utilizzatore* ai capi del quale si trovano le tensioni d'uscita e nel quale entrano le correnti d'uscita.

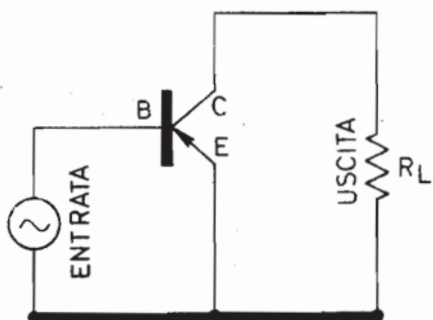
L'elemento comune ai circuiti d'entrata e d'uscita è rappresentato dalla grossa linea orizzontale, inferiore, che è il simbolo di massa dei circuiti. L'elettrodo comune è quello collegato direttamente a massa; perciò talvolta si usano le seguenti denominazioni: EMETTITORE A MASSA in luogo di emettitore comune; BASE A MASSA in luogo di base comune; COLLETTORE A MASSA in luogo di collettore comune.

I tre circuiti della *fig. 2* costituiscono i tre tipi fondamentali di amplificatori a transistori, nei quali però sono omessi per maggiore semplicità i circuiti di polarizzazione e d'alimentazione.

1.1 - Amplificatore ad emettitore comune

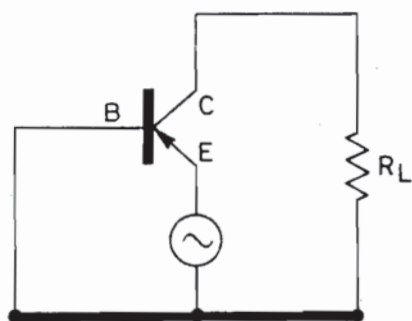
Lo schema dell'amplificatore ad emettitore comune, completo di tutti i circuiti essenziali, è riportato nella *fig. 3*.

In questo amplificatore l'entrata si trova fra la base (B) e l'emettitore (E), e l'uscita si trova fra il collettore (C) e l'emettitore (E); perciò, come si vede, l'emettitore è in comune ai circuiti d'entrata e d'uscita.

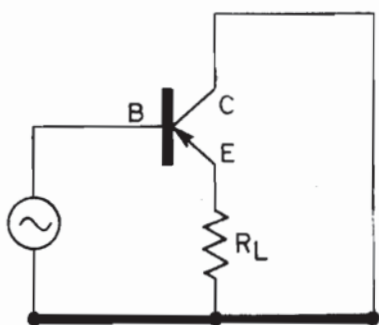


a) CONNESSIONE
AD EMETTITORE COMUNE

 = GENERATORE DI CORRENTE
ALTERNATA



b) CONNESSIONE
A BASE COMUNE



c) CONNESSIONE
A COLLETTORE COMUNE

CIRCUITI FONDAMENTALI CON TRANSISTORE

Fig. 2

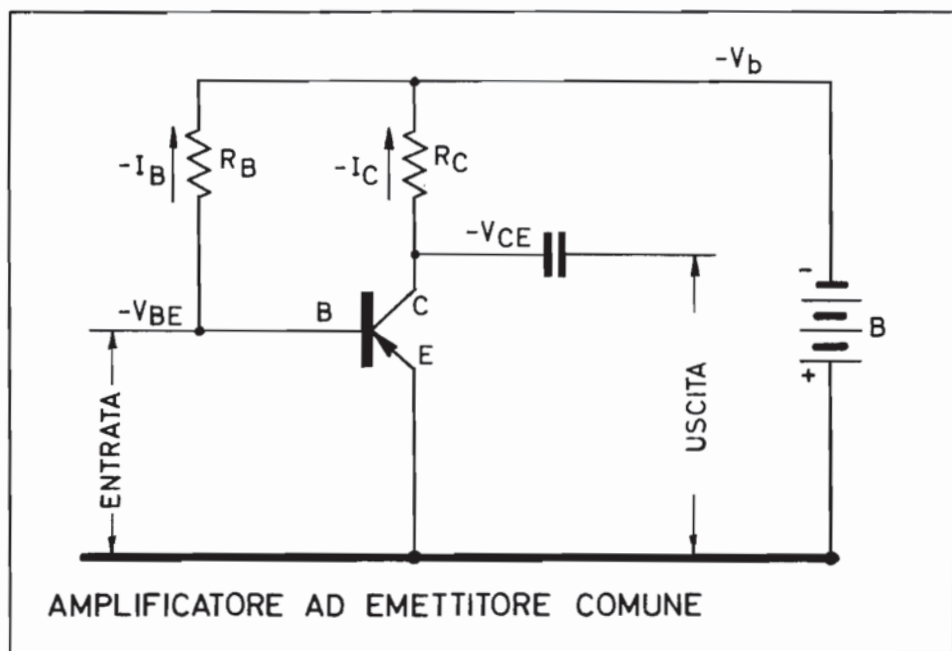


Fig. 3

Nella lezione precedente si è detto che nel transistor P-N-P l'emettitore è l'elettrodo al quale viene applicata la tensione di polarizzazione V_{EB} positiva rispetto alla base; ciò significa che *la base deve essere negativa rispetto all'emettitore*. Inoltre si è anche detto che il collettore è l'elettrodo al quale viene applicata la tensione d'alimentazione $-V_{CB}$, negativa rispetto alla base; ciò significa che *a maggior ragione il collettore deve essere negativo rispetto all'emettitore*.

Dato che la base ed il collettore sono entrambi negativi rispetto all'elettrodo comune, cioè rispetto all'emettitore, si può usare una sola pila per alimentare il collettore e polarizzare la base. Infatti, prelevando la tensione dal polo negativo di una stessa pila (il cui positivo sia collegato all'emettitore) si può ottenere la tensione negativa di collettore ($-V_{CE}$) attraverso un resistore di valore opportuno (R_C) e si può anche ottenere la tensione negativa di base ($-V_{BE}$) attraverso un altro resistore di valore opportuno (R_B).

Il resistore R_C è detto RESISTORE DI COLLETTORE; esso viene calcolato in modo che la caduta di tensione ai suoi capi sia uguale alla differenza fra la tensione della batteria e la tensione di collettore.

Conoscendo le due tensioni e la corrente che deve circolare nel circuito di collettore, *si può calcolare la resistenza R_C , espressa in chiloohm, dividendo la differenza fra la tensione della batteria ($-V_b$) e la tensione di collettore ($-V_{CE}$), entrambe espresse in volt, per l'intensità della corrente di collettore ($-I_C$), espressa in milliampere.*

Ad esempio, mettendo $-V_b=9\text{ V}$, $-V_{CE}=5\text{ V}$ e $-I_C=3\text{ mA}$, il valore della resistenza di collettore sarà $R_C = \frac{9 - 5}{3} = \frac{4}{3} = 1,33\text{ k}\Omega$ (circa).

Il resistore R_B è detto RESISTORE DI BASE; esso viene calcolato in modo che la caduta di tensione ai suoi capi sia uguale alla differenza fra la tensione della batteria e la tensione di base.

Conoscendo le due tensioni e la corrente che deve circolare nel circuito di base, *si può calcolare la resistenza R_B , espressa in megaohm, dividendo la differenza fra la tensione della batteria ($-V_b$) e la tensione di base ($-V_{BE}$), entrambe espresse in volt, per l'intensità della corrente di base ($-I_B$) espressa in microampere.*

Ad esempio, mettendo $-V_b=9\text{ V}$, $-I_B=30\text{ }\mu\text{A}$ e $-V_{BE}=0,14\text{ V}$, il valore della resistenza di base sarà $R_B = \frac{9 - 0,14}{30} = \frac{8,86}{30} = 0,295\text{ M}\Omega$ (circa).

1.2 - Amplificatore a base comune

Lo schema dell'amplificatore a base comune, completo di tutti i circuiti essenziali, è riportato nella *fig. 4*.

In questo amplificatore l'entrata si trova fra l'emettitore (E) e la base (B); l'uscita si trova fra il collettore (C) e la base (B); perciò, come si vede, la base è in comune ai circuiti d'entrata e d'uscita.

Nella lezione precedente si è visto che la tensione d'emettitore deve essere positiva rispetto alla base, mentre quella di collettore deve essere negativa.

Dal fatto che le due tensioni siano di segno contrario si può arguire

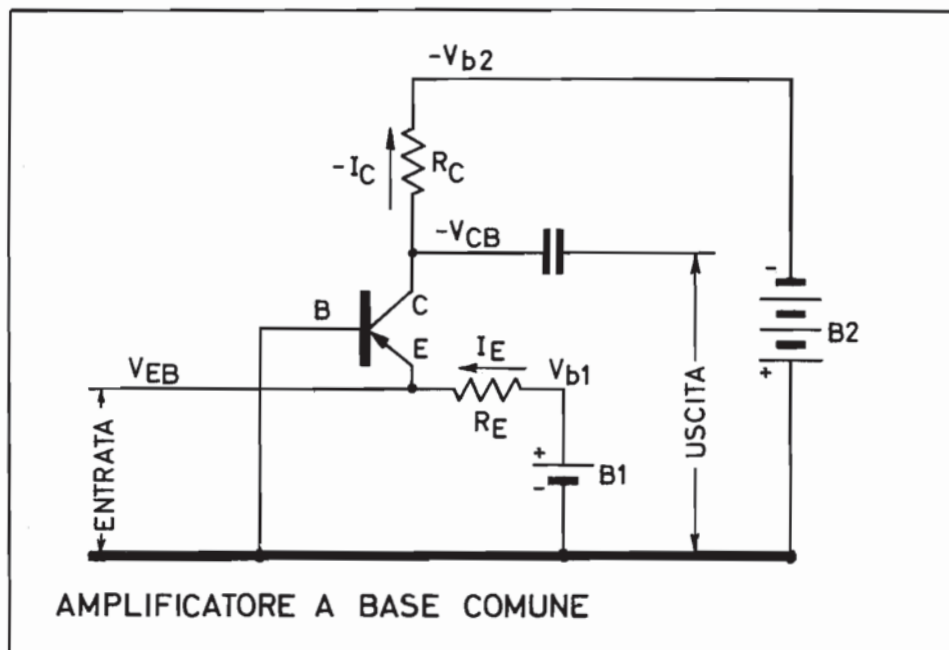


Fig. 4

come siano necessarie due batterie per alimentare e polarizzare il transistor: cioè una batteria, B1, per fornire la tensione di polarizzazione positiva dell'emettitore attraverso un resistore di valore opportuno, R_E ; un'altra batteria, B2, per fornire la tensione di alimentazione negativa del collettore attraverso un altro resistore di valore opportuno, R_C .

Il resistore R_E è detto RESISTORE DI EMETTITORE; il resistore R_C è detto RESISTORE DI COLLETTORE, come quello del circuito precedente.

Conoscendo la tensione che deve esserci fra emettitore e base (V_{EB}), la corrente d'emettitore (I_E) e la tensione della batteria B1 (V_{b1}), si può calcolare la resistenza d'emettitore (R_E) in chiloohm, dividendo la differenza fra la tensione della batteria e quella d'emettitore, entrambe espresse in volt, per la corrente d'emettitore, espressa in milliampere.

Ad esempio, mettendo $V_{b1}=1,5$ V, $V_{EB}=0,18$ V, $I_E=5$ mA, il valore della resistenza d'emettitore sarà $R_E = \frac{1,5 - 0,18}{5} = \frac{1,32}{5} = 0,26$ k Ω (circa).

Conoscendo la tensione che deve esserci fra collettore e base ($-V_{CB}$), la corrente di collettore ($-I_C$) e la tensione della batteria B2 ($-V_{b2}$), si può calcolare la resistenza di collettore (R_C) in chiloohm, dividendo la differenza fra la tensione della batteria e quella d'emettitore, entrambe espresse in volt, per la corrente di collettore, espressa in milliampere.

Ad esempio, mettendo $-V_{b2}=4,5$ V, $-V_{CB}=3$ V, $-I_C=5$ mA, la resistenza di collettore sarà $R_C = \frac{4,5 - 3}{5} = \frac{1,5}{5} = 0,3$ k Ω .

1.3 - Amplificatore a collettore comune

Lo schema dell'amplificatore a collettore comune, completo di tutti i circuiti essenziali, è riportato nella fig. 5.

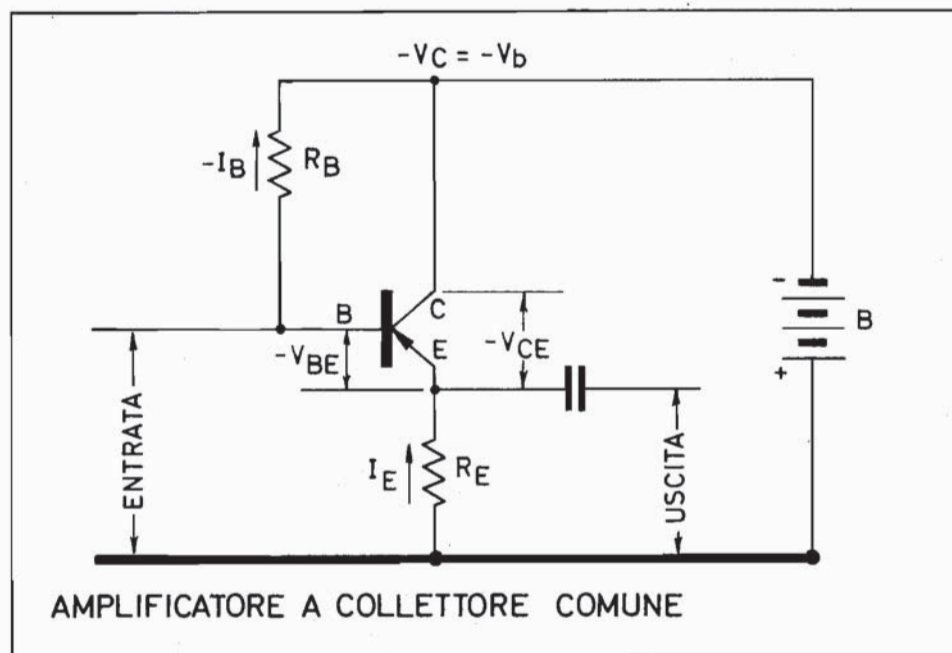


Fig. 5

In questo amplificatore l'entrata si trova fra la base (B) e la massa; l'uscita si trova fra l'emettitore (E) e la massa; perciò la massa costituisce l'elemento comune ai due circuiti, come già nei due amplificatori precedenti. Non si comprende però a prima vista come il collettore possa essere l'elettrodo comune, cioè come il collettore si possa considerare praticamente collegato a massa, dato che fra massa e collettore si trova interposta la batteria B.

La spiegazione di questa contraddizione apparente diventa semplice se si considera che sul collettore la tensione $-V_C$ rimane costante rispetto a massa al variare della corrente di collettore, essendo data dalla tensione di batteria $-V_b$, che è praticamente costante ($-V_C = -V_b$). Stabilito che la tensione di collettore resti costante, si deve concludere che essa è insensibile alla presenza del segnale nei circuiti d'entrata e d'uscita, quindi si comporta come se il collettore rispetto al segnale fosse collegato direttamente a massa (fig. 2-c), cioè come se esso fosse l'elettrodo comune.

Il circuito dell'amplificatore a collettore comune si può alimentare e polarizzare con una sola batteria, come il circuito dell'amplificatore ad emettitore comune (fig. 3).

L'alimentazione dell'emettitore si determina applicando fra collettore ed emettitore, attraverso la resistenza d'emettitore (R_E), la tensione della batteria; d'altra parte la polarizzazione della base si ottiene applicando la tensione della stessa batteria fra base ed emettitore, attraverso il precedente resistore d'emettitore (R_E) ed il resistore di base (R_B).

Conoscendo la corrente d'emettitore (I_E), la tensione che deve esserci fra collettore ed emettitore ($-V_{CE}$) e la tensione della batteria ($-V_b$), si può calcolare la resistenza d'emettitore (R_E) in chiloohm dividendo la differenza fra la tensione della batteria e la tensione collettore-emettitore, entrambe espresse in volt, per la corrente d'emettitore, espressa in milliampere.

Ad esempio, mettendo $-V_b = 9$ V, $-V_{CE} = 5$ V e $I_E = 8$ mA, la resistenza di emettitore dovrà essere $R_E = \frac{9 - 5}{8} = \frac{4}{8} = 0,5$ k Ω .

Conoscendo la corrente di base ($-I_B$), la tensione che deve esserci fra collettore ed emettitore ($-V_{CE}$) e la tensione che deve esserci fra

base ed emettitore ($-V_{BE}$), si può calcolare la resistenza di base (R_B) in megaohm dividendo la differenza fra la tensione collettore-emettitore e la tensione base-emettitore, entrambe espresse in volt, per la corrente di base, espressa in microampere.

Ad esempio, mettendo $-I_B=60 \mu\text{A}$, $-V_{CE}=5 \text{ V}$ e $-V_{BE}=0,12 \text{ V}$, la resistenza di base sarà $R_B = \frac{5 - 0,12}{60} = \frac{4,88}{60} = 0,081 \text{ M}\Omega (=81 \text{ k}\Omega)$.

1.4 - Confronto dei tipi fondamentali di amplificatori a transistori

Per stabilire un confronto fra i tre tipi fondamentali di amplificatori a transistori in generale occorre prendere in considerazione due specie di grandezze: le IMPEDENZE ed il COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE del transistore.

Le impedenze che possono interessare sono due: l'IMPEDENZA D'ENTRATA e l'IMPEDENZA D'USCITA.

L'impedenza d'entrata dell'amplificatore a transistori è data dal valore che si ottiene dividendo la variazione della tensione applicata all'entrata per la variazione della rispettiva corrente.

Affinché ci sia adattamento fra l'entrata dell'amplificatore ed il generatore del segnale occorre che l'impedenza d'entrata sia di valore uguale od almeno prossimo a quello dell'impedenza interna del generatore.

L'impedenza d'uscita dell'amplificatore è data dal valore che si ottiene dividendo la variazione della tensione d'uscita per la variazione della rispettiva corrente.

Anche in questo caso affinché ci sia adattamento fra l'entrata del carico e l'uscita dell'amplificatore occorre che l'impedenza del carico e l'impedenza di uscita dell'amplificatore siano uguali, od almeno di valore molto prossimo.

Confrontando i dati riportati nella tabella della fig. 6 si vede immediatamente che, in base ai valori delle impedenze d'entrata e d'uscita, l'amplificatore a base comune può servire quando il generatore di segnale ha un'impedenza interna molto bassa ed il carico ha un'impedenza molto

CARATTERISTICHE DEGLI AMPLIFICATORI	CONNESSIONE AD EMETTITORE COMUNE	CONNESSIONE A BASE COMUNE	CONNESSIONE A COLLETTORE COMUNE
Impedenza d'entrata	media (~ 1 k Ω)	molto bassa (~ 35 Ω)	molto alta (~ 35 k Ω)
Impedenza d'uscita	media (~ 50 k Ω)	molto alta (~ 1 M Ω)	molto bassa (~ 500 Ω)
Guadagno di corrente	alto ($\beta \simeq 35$)	basso ($\alpha \simeq 0,98$)	alto ($\beta/\alpha \simeq 36$)
Guadagno di tensione	alto (~ 270)	alto (~ 380)	unitario (~ 1)
Guadagno di potenza	molto alto	medio	molto basso
CONFRONTO DEI TIPI FONDAMENTALI DI AMPLIFICATORI A TRANSISTORI			

Fig. 6

alta; viceversa l'amplificatore a collettore comune può servire quando il generatore del segnale ha un'impedenza interna molto alta ed il carico ha un'impedenza molto bassa; l'amplificatore ad emettitore comune può servire in tutti i casi intermedi.

I valori riportati tra parentesi, nella tabella, sono valori medi, puramente indicativi.

Oltre che le impedenze, per stabilire un confronto fra gli amplificatori interessano anche gli indici dei guadagni dovuti ai transistori.

Nella lezione precedente abbiamo già visto come si ottenga un indice del guadagno di corrente, cioè il *coefficiente di amplificazione alfa* (α).

Questo coefficiente rappresenta il guadagno di corrente dell'amplificatore a base comune; esso può essere definito come *il numero che si ottiene dividendo la variazione della corrente di collettore (a tensione*

di collettore costante) per la corrispondente variazione della corrente d'emettitore.

Un altro coefficiente, che indichiamo con il simbolo β (si legge « beta »), rappresenta il guadagno di corrente dell'amplificatore ad emettitore comune; esso può essere definito come *il numero che si ottiene dividendo la variazione della corrente di collettore (a tensione di collettore costante) per la corrispondente variazione della corrente di base.*

Infine un altro coefficiente rappresenta il guadagno di corrente dell'amplificatore a collettore comune; esso può essere definito come *il numero che si ottiene dividendo la variazione della corrente d'emettitore (a tensione d'emettitore costante) per la corrispondente variazione della corrente di base.*

Il valore di quest'ultimo coefficiente è uguale al numero che si ottiene dividendo *il coefficiente β per il coefficiente α* , perciò di solito esso viene indicato con il simbolo del rapporto β/α riportato nella tabella della *fig. 6*. In pratica dividendo β per α si ottiene sempre un valore poco superiore a quello di β ($\beta/\alpha = \beta + 1$), perciò, trascurando la differenza, si considera il coefficiente β valido sia per il circuito ad emettitore comune, sia per il circuito a collettore comune.

Confrontando i valori dei guadagni di corrente e di tensione, riportati tra parentesi nella tabella, e le generiche indicazioni relative ai guadagni di potenza, si vede immediatamente che la 'connessione ad emettitore comune è mediamente la più vantaggiosa. Per questo motivo l'amplificatore ad emettitore comune è usato più frequentemente nei circuiti degli apparecchi radio e nei circuiti a bassa frequenza; l'amplificatore a base comune è usato talvolta nei circuiti ad alta frequenza (radiofrequenza); l'amplificatore a collettore comune è usato quasi esclusivamente come adattatore d'impedenza.

Essendo molto limitato l'impiego degli amplificatori a base comune ed a collettore comune, nel seguito di queste lezioni saranno studiate soltanto le applicazioni dell'amplificatore ad emettitore comune, che sono quelle generalmente adottate negli apparecchi radio e nelle fonovaligie portatili.

2. - CARATTERISTICHE DEL TRANSISTORE P-N-P IN CONNESSIONE AD EMETTITORE COMUNE

Nella *Transistori 4°* abbiamo visto come si possano rappresentare le proprietà elettriche del diodo mediante la *caratteristica tensione-corrente*, cioè mediante la curva che fa vedere l'andamento della corrente del diodo al variare della tensione applicata fra anodo e catodo.

Per rappresentare le proprietà del transistor si possono usare analogamente grafici, in base ai quali è possibile fissare i punti di lavoro e determinare le varie tensioni e correnti di funzionamento del transistor stesso (*fig. 7*).

Mentre per il diodo si ha una sola caratteristica, talvolta suddivisa in due parti (*caratteristica diretta ed inversa*), per il transistor si possono avere ben dodici caratteristiche diverse, anzi dodici FAMIGLIE

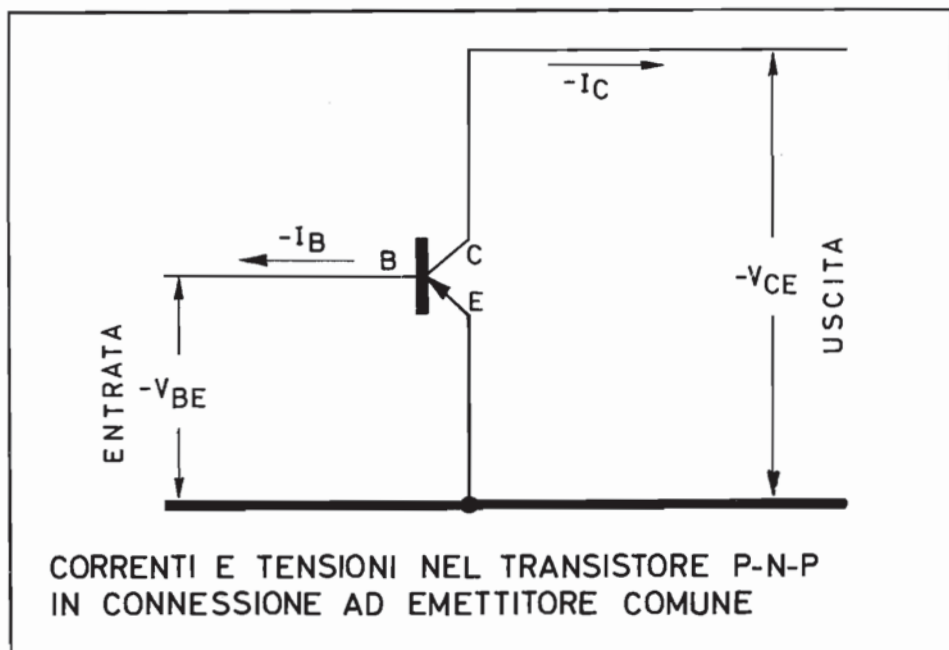


Fig. 7

DI CARATTERISTICHE, ciascuna delle quali rappresenta una ben definita relazione fra due tensioni ed una corrente, oppure fra due correnti ed una tensione del transistor.

Per rappresentare compiutamente tutte le proprietà elettriche del transistor non sono però necessarie tutte le dodici famiglie di caratteristiche, poiché, avendone due che comprendano la tensione e la corrente d'entrata, la tensione e la corrente d'uscita, si possono ricavare con operazioni grafiche le rimanenti dieci.

Di solito le case costruttrici dei transistori forniscono due famiglie di caratteristiche che comprendono le correnti e le tensioni richieste ed inoltre danno anche due o più altre caratteristiche isolate, corrispondenti a valori tipici di funzionamento del transistor.

Per il rilievo delle caratteristiche occorre far riferimento ad uno dei tre tipi di connessione studiati in precedenza e bisogna costruire un apparato di misura con quattro strumenti: due per le correnti d'entrata e d'uscita e due per le tensioni d'entrata e d'uscita.

Noi ora prenderemo in considerazione soltanto le caratteristiche del transistor P-N-P nella connessione ad emettitore comune, poiché, come già si è detto, questo tipo di transistor e questo tipo di connessione sono i più frequentemente usati in radiotecnica.

L'apparato di misura per il rilievo delle caratteristiche può essere rappresentato con lo schema riportato nella *fig. 8*.

Con simile apparato si possono raccogliere tutti i dati necessari alla costruzione delle caratteristiche.

In primo luogo consideriamo le caratteristiche relative al circuito d'uscita, cioè quelle che comprendono la corrente di collettore, $-I_c$, e la tensione di collettore, $-V_{ce}$, come elementi variabili; queste caratteristiche sono dette correntemente CARATTERISTICHE D'USCITA.

La corrente di collettore, $-I_c$, dipende dalla tensione di collettore, $-V_{ce}$, ma è anche fortemente influenzata dalle variazioni della corrente di base, $-I_b$; perciò, durante il rilievo di una caratteristica d'uscita, occorre mantenere costante la corrente di base sul valore iniziale prescelto.

Per il rilievo delle caratteristiche d'uscita bisogna dunque iniziare

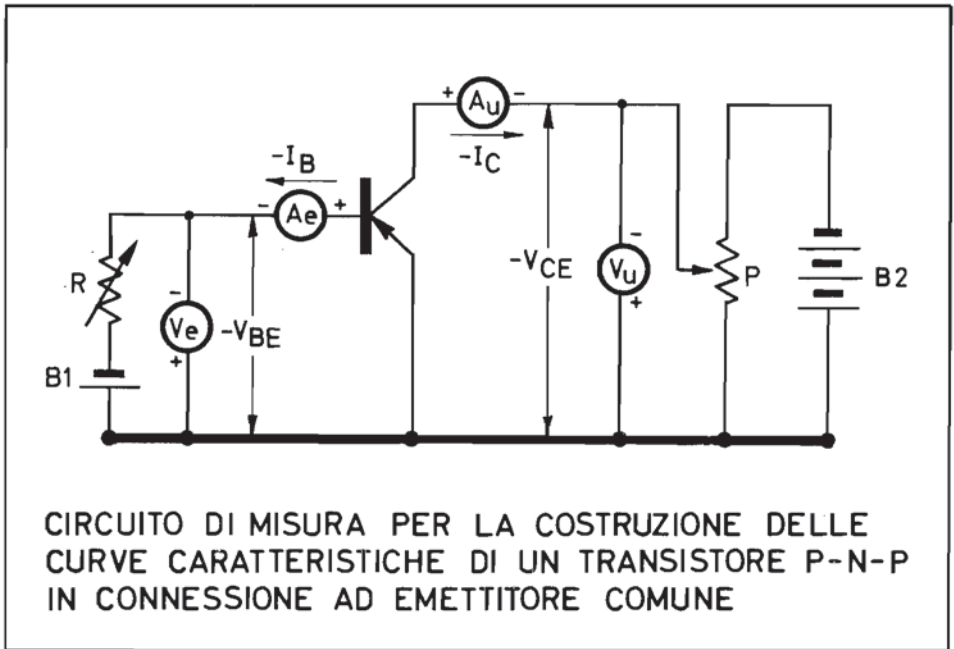


Fig. 8

con una regolazione che interessa il circuito di base ed ha lo scopo di portare la corrente $-I_B$ al valore prefissato. Questa operazione si esegue aumentando o diminuendo la resistenza variabile del reostato R inserito nel circuito di polarizzazione della base. Il valore della corrente $-I_B$ si legge sul misuratore A_e .

In seguito, mantenendo sempre costante la corrente di base, mediante il potenziometro P si fa variare la tensione di collettore, $-V_{CE}$, da zero al valore massimo corrispondente alla tensione della batteria d'alimentazione B_2 . Le variazioni della tensione $-V_{CE}$ si possono leggere sul voltmetro V_u inserito ai capi del circuito d'uscita.

A queste variazioni di tensione corrispondono variazioni più o meno accentuate della corrente di collettore, $-I_C$, leggibili sullo strumento A_u ; così si possono determinare coppie di valori, i quali, riportati su un diagramma cartesiano, consentono di costruire la caratteristica d'uscita corrispondente alla corrente di base prefissata.

Per ogni valore della corrente di base si ottiene una caratteristica d'uscita ben definita, come si può vedere nel *quadrante I* (in alto, a destra) del diagramma riportato nella *fig. 9*. L'insieme delle caratteristiche tracciate nel quadrante costituisce la famiglia delle caratteristiche d'uscita.

Nel medesimo diagramma, sotto i grafici delle caratteristiche d'uscita, si trovano altri grafici, che rappresentano altre caratteristiche, dette CARATTERISTICHE MUTUE DI TENSIONE.

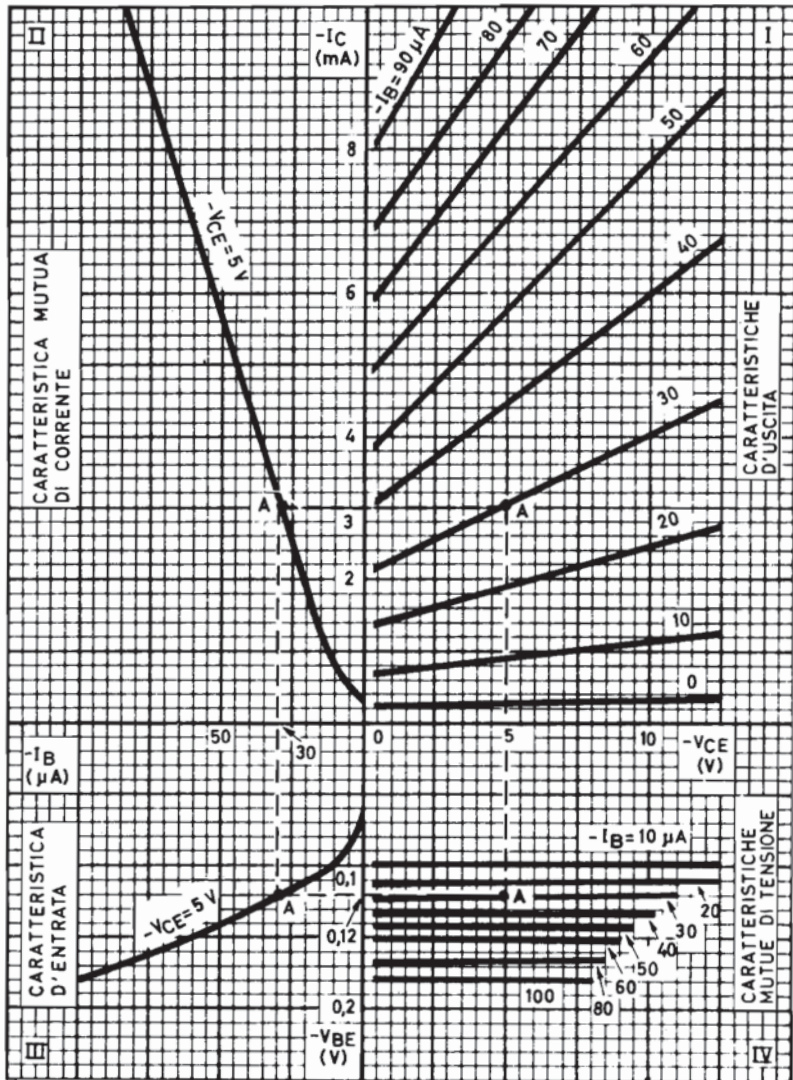
Anche in questo caso, ad ogni caratteristica corrisponde un determinato valore della corrente di base, $-I_B$, che perciò va mantenuta costante durante le operazioni di misura relative alla stessa caratteristica.

Sono variabili la tensione di collettore ($-V_{CE}$), già considerata nel caso precedente, e la tensione di base ($-V_{BE}$), il cui valore nell'apparato della *fig. 8* è leggibile sul voltmetro V_e . Bisogna però osservare che le variazioni della tensione di base dovute alle variazioni della tensione di collettore sono quasi impercettibili, come risulta dal fatto che ciascuna caratteristica mutua di tensione si mantiene praticamente orizzontale, cioè ad un livello costante rispetto all'asse delle tensioni $-V_{CE}$.

Nella famiglia delle caratteristiche d'uscita ed in quella delle caratteristiche mutue di tensione sono comprese tutte le grandezze fondamentali: cioè la tensione di collettore ($-V_{CE}$), la corrente di collettore ($-I_C$), la corrente di base ($-I_B$), il cui valore è indicato su ciascuna caratteristica, ed infine la tensione di base ($-V_{BE}$); quindi da queste due famiglie di caratteristiche si possono ricavare con operazioni grafiche tutte le altre. Ad ogni modo, per maggiore comodità dei progettisti, le case costruttrici dei transistori forniscono frequentemente almeno due altre caratteristiche isolate: la CARATTERISTICA MUTUA DI CORRENTE, riportata nel *quadrante II* del diagramma della *fig. 9*, e la CARATTERISTICA D'ENTRATA, riportata nel *quadrante III* del medesimo diagramma.

La caratteristica mutua di corrente si costruisce in base ai valori della corrente $-I_C$, ottenuti al variare della corrente $-I_B$ e mantenendo costante la tensione di collettore ($-V_{CE}=5\text{ V}$).

La caratteristica d'entrata si costruisce in base ai valori della tensione $-V_{BE}$, ottenuti nelle stesse condizioni precedenti, cioè al variare di $-I_B$ e mantenendo costante $-V_{CE} (=5\text{ V})$.



CARATTERISTICHE DI UN TRANSISTORE P-N-P IN CONNESSIONE AD EMETTITORE COMUNE

Fig. 9

Riunendo le caratteristiche del transistor in un quadro come quello della *fig. 9*, è possibile eseguire tutti i calcoli fondamentali per il progetto di un amplificatore ad emettitore comune.

In queste lezioni però ci limiteremo a vedere come si possano determinare i valori delle correnti e delle tensioni indicate nella *fig. 7*, cioè quei valori necessari per calcolare la resistenza di collettore, R_C , e la resistenza di base, R_B , in circuiti simili a quello della *fig. 3*.

In primo luogo occorre fissare il punto di lavoro del transistor. Questo punto di lavoro può essere riportato in una delle quattro posizioni indicate, nella *fig. 9*, con la lettera A; in genere però viene prima fissata la sua posizione sulle caratteristiche d'uscita (*quadrante I*), e da questa si ricavano facilmente le altre posizioni determinando le intersezioni fra rette orizzontali e verticali come quelle tratteggiate indicate nella figura.

Fissare la posizione del punto di lavoro sulle caratteristiche d'uscita significa dare il valore della corrente di base ($-I_B=30 \mu\text{A}$), quello della tensione di collettore ($-V_{CE}=5 \text{ V}$) e quello della corrente di collettore ($-I_C=3 \text{ mA}$). Ora per completare la serie dei valori richiesti manca soltanto il valore della tensione di base.

Questo valore si può leggere sull'asse $-V_{BE}$, all'altezza del punto di lavoro riportato sulla caratteristica d'entrata (*quadrante III*), oppure sulla caratteristica mutua di tensione (*quadrante IV*): il valore trovato è $-V_{BE}=0,12 \text{ V}$.

Aggiungendo ai quattro valori determinati sulle caratteristiche il valore della tensione fornita dalla batteria d'alimentazione, si hanno tutti i dati necessari per calcolare un amplificatore ad emettitore comune secondo il procedimento esposto durante lo studio del circuito della *fig. 3*.

3. - STABILIZZAZIONE IN CORRENTE CONTINUA DELL'AMPLIFICATORE AD EMETTITORE COMUNE

Le caratteristiche dei transistori possono variare sensibilmente da un transistor all'altro dello stesso tipo; inoltre quelle di un medesimo transistor possono modificarsi in misura notevole con l'andamento della

temperatura; tutto ciò può determinare lo spostamento del punto di lavoro dell'amplificatore e produrre distorsioni, più o meno gravi, del segnale d'uscita.

Oltre a questo inconveniente, negli stadi di potenza ad emettitore comune si può produrre una sorta di *reazione termica* che può danneggiare irreparabilmente la struttura interna del transistor.

La reazione termica consiste in un aumento della temperatura interna del transistor causato dal passaggio della corrente, e nel successivo aumento della corrente di collettore causato dall'aumento della temperatura alle giunzioni. I due fenomeni continuano ad alimentarsi vicendevolmente, finché la tensione di collettore, che diminuisce all'aumentare della corrente di collettore, non abbia raggiunto un valore pari alla metà della tensione d'alimentazione misurabile ai poli della batteria.

Raggiunto questo valore non si produrranno altri aumenti della corrente di collettore, e quindi cesserà di aumentare la temperatura; però il riscaldamento ottenuto potrà già essere eccessivo e causare il guasto del transistor.

Se già all'inizio del funzionamento la normale tensione di collettore, $-V_c$, è uguale alla metà della tensione della batteria, cioè si verifica la condizione $-V_c = \frac{1}{2} (-V_b)$ indicata nella *fig. 10-a*, non si produrrà alcuna reazione termica che possa danneggiare il transistor; anche in questo caso però si potranno avere spostamenti del punto di lavoro dovuti alle variazioni della temperatura esterna od alla sostituzione del transistor.

Per evitare tutti questi inconvenienti ed ottenere correnti continue stabili si ricorre generalmente all'impiego di particolari accorgimenti circuitali che ora esamineremo.

Un primo accorgimento, il più semplice, consiste nell'accoppiare il circuito di collettore con quello di base; ciò si ottiene collegando al collettore la resistenza di polarizzazione, R_B , come si vede nel circuito della *fig. 10-b*.

In queste condizioni la corrente di collettore, $-I_c$, si divide in due parti: una parte che segue il percorso solito, attraverso la resistenza R_c ; l'altra parte, I_r , che passa attraverso la resistenza di polarizzazione ed entra nel circuito di base, opponendosi al senso della corrente $-I_B$.

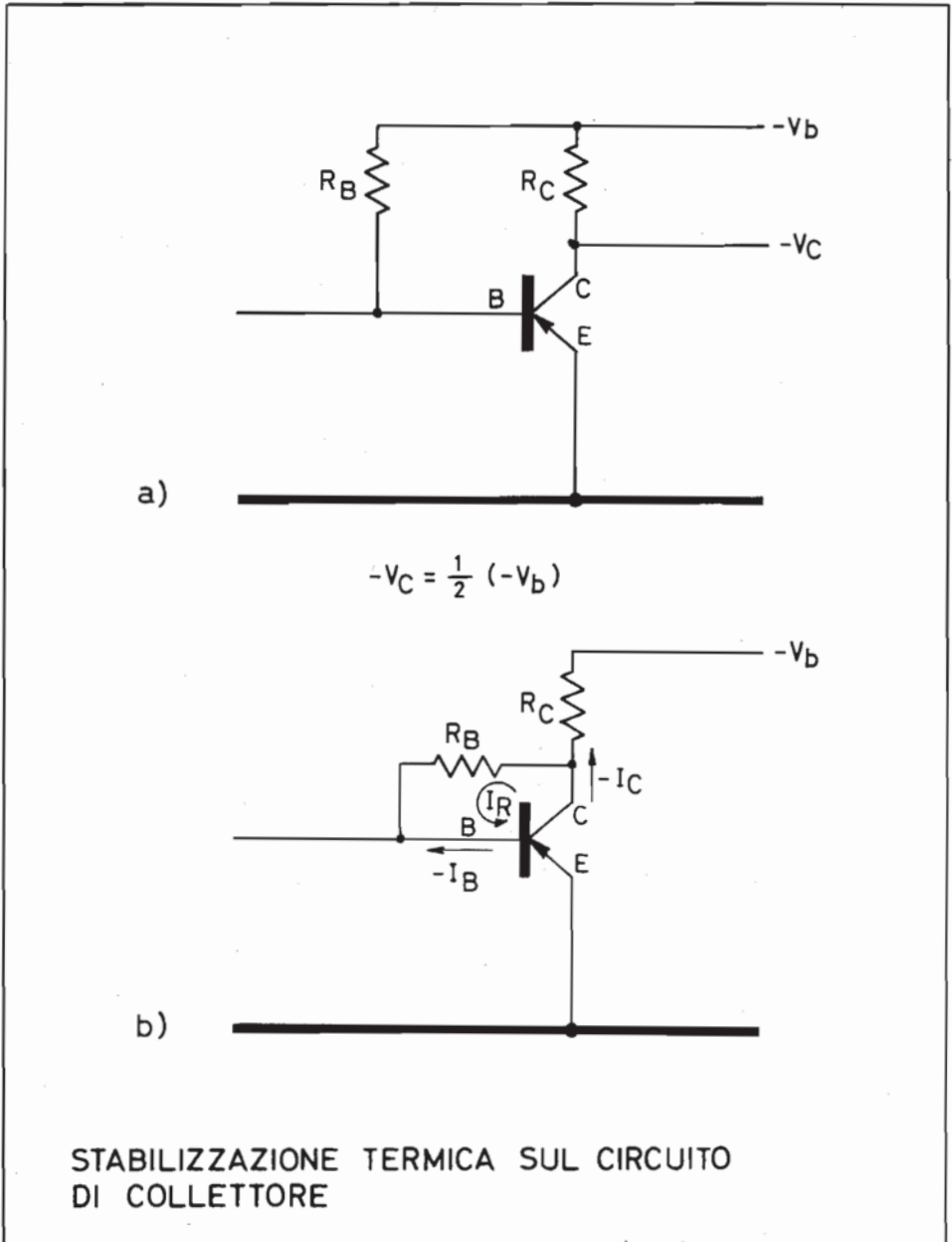


Fig. 10

Ora, aumentando la corrente di collettore, è evidente che dovrebbe aumentare anche la corrente I_R , che è parte della stessa corrente di collettore. Ma se aumenta I_R , dovrebbe diminuire la corrente $-I_B$, che nel circuito di base si oppone alla stessa I_R ; quindi, per effetto della diminuzione della corrente pilota $-I_B$, si dovrebbe ottenere una diminuzione della corrente di collettore $-I_C$, tale da compensare il precedente aumento.

In pratica, per effetto dell'accoppiamento fra il circuito di collettore e quello di base, non si hanno né aumenti apprezzabili della corrente di collettore né diminuzioni apprezzabili della corrente di base, quindi le correnti continue acquistano una stabilità che è sufficiente a garantire il normale funzionamento dell'amplificatore nei casi più comuni.

Tuttavia, per assicurare condizioni di stabilità ancora migliori di quelle ottenibili con l'accoppiamento fra collettore e base, molto spesso si ricorre al circuito rappresentato nella *fig. 11*.

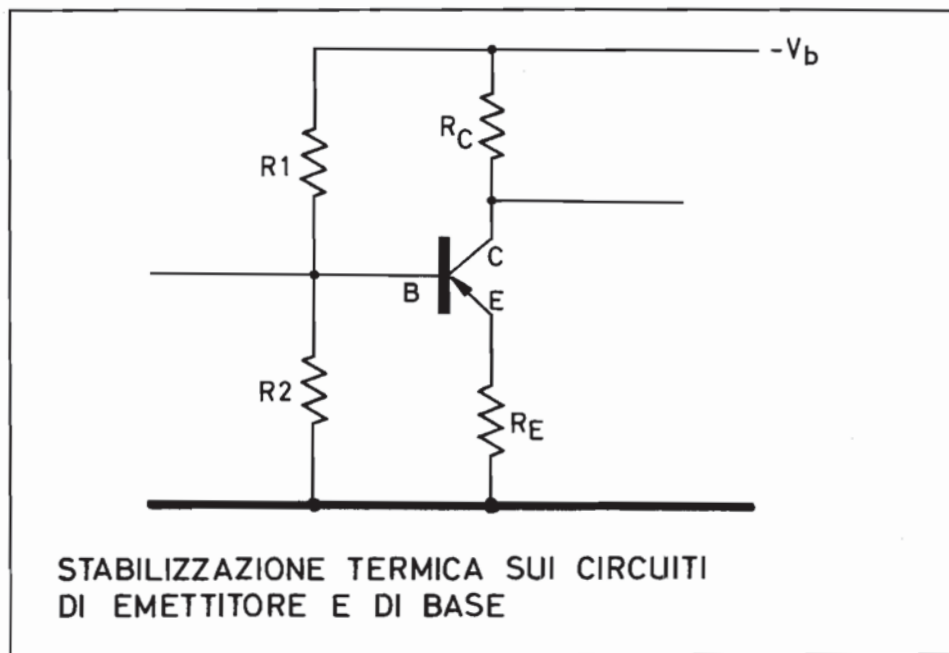


Fig. 11

In questo circuito, ad un aumento iniziale della corrente di collettore corrisponderebbe un aumento della corrente di emettitore e quindi un aumento della tensione d'emettitore rispetto alla massa.

D'altra parte la tensione della base rispetto alla massa è mantenuta costante dal partitore di tensione R1 R2; quindi, all'aumento iniziale della corrente di collettore corrisponderebbe in definitiva una diminuzione della tensione fra base ed emettitore e la conseguente diminuzione della corrente di base. La diminuzione della corrente di base determinerebbe a sua volta una diminuzione della corrente di collettore tale da compensare l'aumento iniziale.

In pratica, per l'azione combinata del resistore R_E e del partitore R1 R2 non si hanno né aumenti apprezzabili della corrente di collettore, né diminuzioni apprezzabili della tensione fra base ed emettitore; quindi si ottengono correnti continue stabili.

4. - ESERCITAZIONE PRATICA

Montaggio di un amplificatore ad emettitore comune con stabilità termica del circuito di collettore

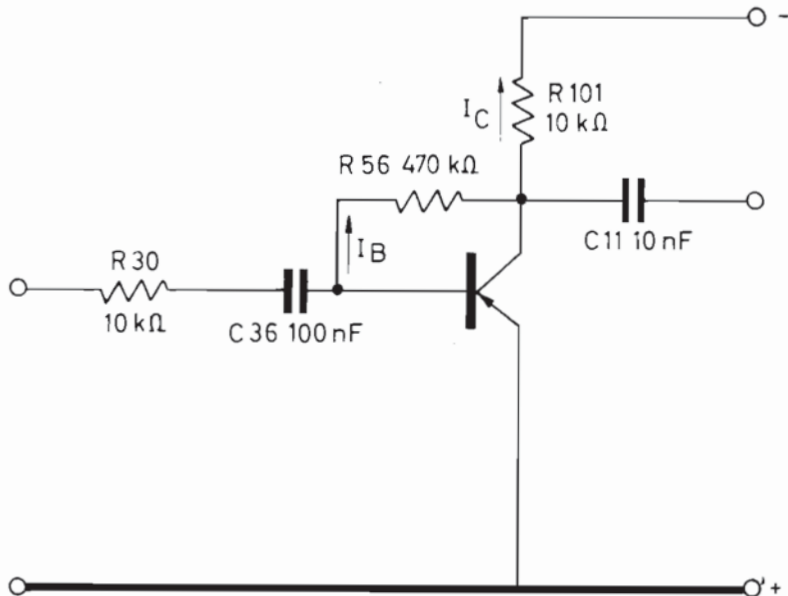
Nella scorsa lezione si è visto come si identificano i terminali di un transistor e come si può misurarne il coefficiente di amplificazione β ; ora si procederà alla costruzione di un semplice amplificatore.

Lo schema elettrico del circuito è illustrato nella *fig. 12-a*.

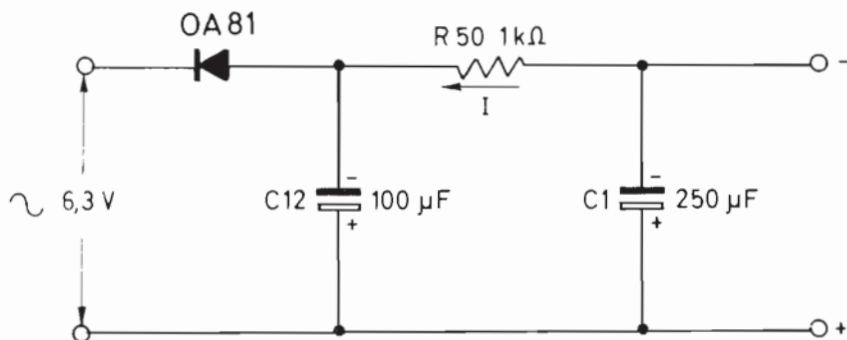
La polarizzazione di base del transistor viene ottenuta tramite il resistore R56 da 470 k Ω collegato al collettore.

Quando la corrente di collettore I_C aumenta, la tensione di collettore diminuisce e diminuisce pure la corrente di base I_B , che scorre nel resistore R56, in accordo con la tensione di collettore da cui essa dipende; si ha in tal modo una azione che si oppone all'aumento di I_C .

Analogamente, quando la corrente I_C diminuisce, la tensione di col-



a) AMPLIFICATORE AD EMTTITORE COMUNE CON STABILIZZAZIONE TERMICA SUL CIRCUITO DI COLLETTORE



b) ALIMENTATORE
CIRCUITI DA REALIZZARE NELL'ESERCITAZIONE

Fig. 12

lettore aumenta ed aumenta pure la corrente I_B che in tal modo contrasta la diminuzione della corrente I_C .

Il circuito ha perciò la proprietà di opporsi a qualsiasi variazione della corrente di collettore, cioè esso tende a mantenere costante questa corrente.

In tal modo, se per un motivo qualsiasi, ed in particolare per un aumento della temperatura dell'ambiente in cui il transistor si trova, la corrente di collettore aumenta, automaticamente la corrente di base diminuisce opponendosi ad un ulteriore aumento della corrente di collettore.

Il segnale da amplificare viene applicato alla base del transistor tramite il resistore R30 da 10 k Ω ed il condensatore C36 da 100 nF; in particolare il resistore R30 ha il compito di limitare la corrente di comando della base del transistor per evitare di saturarlo ed il condensatore C36 ha lo scopo di bloccare l'eventuale componente continua contenuta nel segnale stesso.

Il carico dello stadio è costituito dal resistore R101 da 10 k Ω , ai capi del quale viene a localizzarsi il segnale amplificato che viene poi prelevato tramite il condensatore C11 da 10 nF.

La tensione continua negativa per l'alimentazione dello stadio amplificatore sarà fornita da un apposito alimentatore (*fig. 12-b*), che impiega il diodo al germanio OA81; pure tale alimentatore sarà realizzato in questa esercitazione pratica.

La tensione continua viene ottenuta dal raddrizzamento e livellamento della tensione alternata prelevata dall'avvolgimento secondario di 6,3 V del trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore.

Poiché dal circuito dell'amplificatore è richiesta una tensione negativa, il diodo OA81 deve essere collegato al contrario rispetto ai raddrizzatori che ha collegato negli alimentatori ad una semionda realizzati nelle lezioni pratiche, e cioè in modo che la tensione da raddrizzare sia applicata al catodo anziché all'anodo. Si avrà così passaggio di corrente nel diodo solamente quando la tensione applicata al catodo è negativa rispetto all'anodo, cioè durante le semionde negative.

All'uscita del diodo vi è il solito circuito di filtro (formato dai con-

densatori C12 da 100 μF e C1 da 250 μF e dal resistore R50 da 1 $\text{k}\Omega$) che ha il compito di rendere perfettamente continua la tensione rad-drizzata.

I due circuiti devono essere montati sul telaio A, che occorre sia preparato adeguatamente.

Smonti in primo luogo la bobina RF ed il condensatore variabile CV2, badando di non danneggiarli.

Dissaldi quindi tutti i collegamenti e componenti relativi al circuito del ricevitore con diodo al cristallo, ad eccezione dei seguenti collegamenti:

— filo di rame stagnato nudo posto fra la linguetta del capocorda CA62 della basetta E ed il capocorda della boccola nera C;

— filo di rame stagnato nudo posto fra la linguetta del capocorda CA57 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa D;

— filo isolato rosso posto fra la linguetta del capocorda CA56 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa E.

Tutti i componenti recuperati devono, come al solito, essere riposti al sicuro e conservati con cura, poiché verranno ancora utilizzati. Terminata l'operazione di preparazione, il telaio deve presentarsi come indicato nella *fig. 13*.

Per potere eseguire la nuova esercitazione è anche necessario dissaldare dalla basetta A a 34 capicorda il resistore R30 da 10 $\text{k}\Omega$ collegato fra le linguette dei capicorda CA18 e CA19, ed il transistor collegato fra gli occhielli dei capicorda CA18, CA19 e CA20. Dissaldando il transistor è opportuno serrarne i terminali con le pinze, per disperdere il calore del saldatore durante il riscaldamento dello stagno, come già suggerito nella precedente lezione.

L'esercitazione pratica ha inizio con il montaggio dello stadio alimentatore che avrà il compito di fornire la tensione negativa di alimentazione per l'amplificatore. Lo stadio alimentatore sarà utilizzato anche per alimentare i circuiti che realizzerà in seguito.

a) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 4 cm e lo disponga fra gli occhielli dei capicorda CA49 e CA51, dal lato esterno della basetta D; per ora non esegua alcuna saldatura.

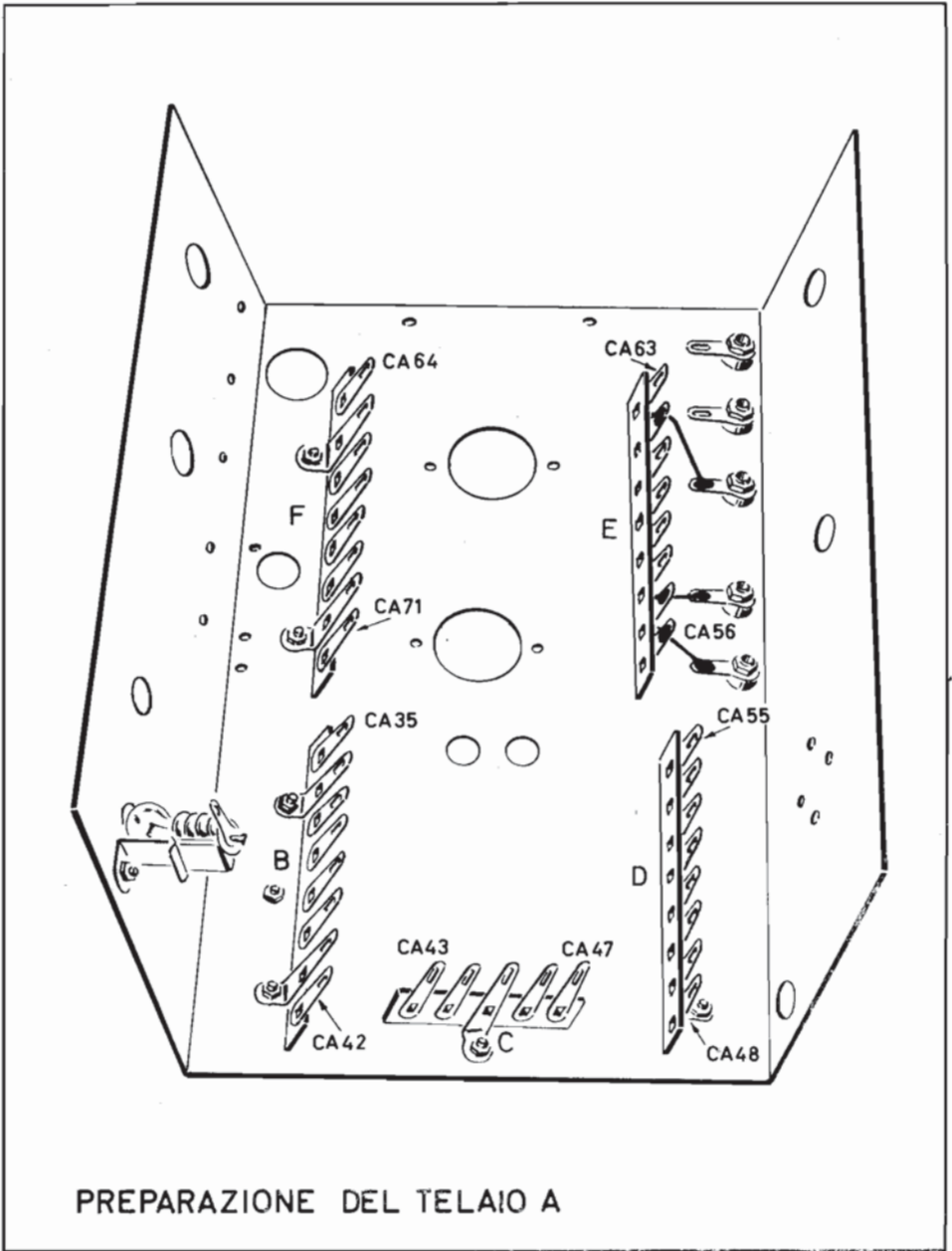


Fig. 13

b) Disponga il condensatore elettrolitico C1 da 250 μF - 12 V fra gli occhielli dei capicorda CA51 e CA55, dal lato interno della bassetta D, con il lato positivo rivolto verso il CA51; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA51, bloccando così anche il filo isolato nero disposto in precedenza.

c) Disponga il resistore ad impasto R50 da 1 $\text{k}\Omega$ - 1 W, toll. 10% (marrone - nero - rosso, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA52 e CA55, dal lato interno della bassetta D; esegua la saldatura su entrambi i punti bloccando così anche il terminale del condensatore C1 disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA55.

d) Disponga il condensatore elettrolitico C12 da 100 μF - 50 V fra le linguette dei capicorda CA49 e CA52, dal lato esterno della bassetta D, con il terminale positivo rivolto verso il capocorda CA49; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA49.

Poiché questo condensatore può essere del tipo con la custodia priva di rivestimento isolante, faccia sempre attenzione che esso non venga mai a contatto con il telaio: infatti, se ciò dovesse verificarsi il diodo al germanio risulterebbe in cortocircuito e pertanto si danneggerebbe irrimediabilmente applicando tensione al circuito.

e) Disponga il diodo al germanio D4 (OA81 o tipi equivalenti) fra le linguette dei capicorda CA48 e CA52, dal lato interno della bassetta D, con il lato contrassegnato (catodo) rivolto verso il capocorda CA48; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando in tal modo anche il terminale del condensatore C12 da 100 μF disposto in precedenza nella linguetta del capocorda CA52.

f) Tagli due spezzoni di filo trecciola, uno verde e l'altro nero, lunghi 50 cm ciascuno e li attorcigli formando una treccia a due colori; saldi un estremo del filo trecciola nero sull'occhiello del capocorda CA49 bloccando così anche il filo isolato nero disposto in precedenza; saldi un estremo del filo trecciola verde sull'occhiello del capocorda CA48.

Il montaggio dell'alimentatore è così concluso; nella *fig. 14* è riportato il relativo schema pratico.

Prosegua ora il montaggio disponendo fra i capicorda della bassetta E i collegamenti ed i componenti dello stadio amplificatore.

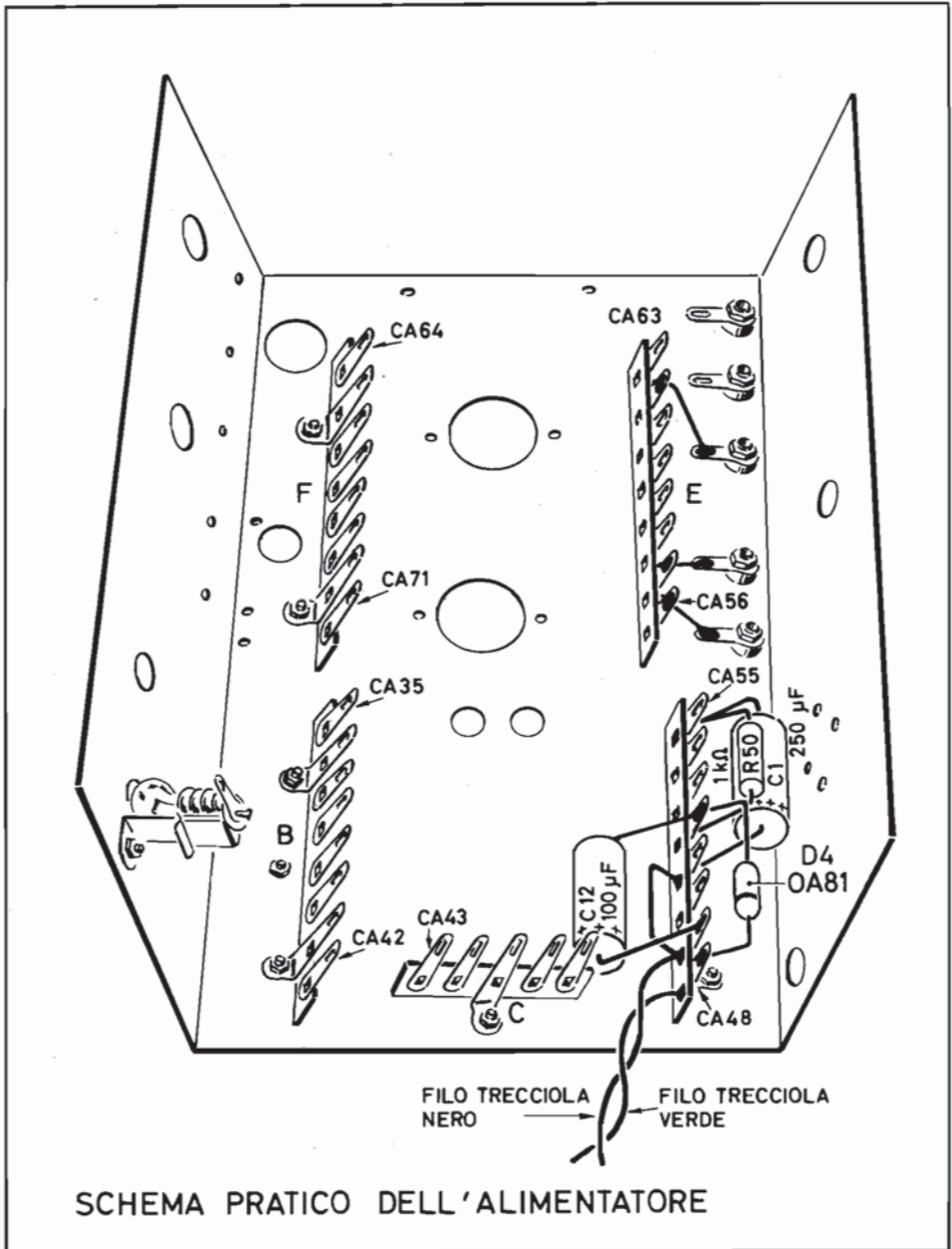


Fig. 14

g) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 12 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA53 della basetta D e l'occhiello del capocorda CA61 della basetta E; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA53.

h) Disponga il resistore ad impasto R101 da 10 k Ω - 1 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA59 e CA61, dal lato interno della basetta E; è opportuno isolare, mediante uno spezzone di tubetto isolante lungo 1 cm e del diametro di 1 mm, il terminale del resistore che deve essere disposto sull'occhiello del capocorda CA61; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA61, bloccando così anche il filo isolato rosso disposto in precedenza.

i) Disponga il resistore ad impasto R56 da 470 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (giallo - violetto - giallo, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA59, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA59, bloccando così anche il terminale del resistore R101 disposto in precedenza.

l) Disponga il condensatore a carta C36 da 100 nF - 630 V, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA63 e CA58, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del resistore R56 disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA58.

m) Disponga il resistore ad impasto R30 da 10 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento) fra la linguetta del capocorda CA63 della basetta E ed il capocorda della boccola verde A; esegua la saldatura su entrambi i punti.

n) Disponga il condensatore a carta C11 da 10 nF - 630 V, toll. 20% fra le linguette dei capicorda CA56 e CA59, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura solamente sulla linguetta del capocorda CA56.

Deve ora saldare il transistor sul lato esterno della basetta.

o) Saldi il terminale di collettore (C) sulla linguetta del capocorda CA59, bloccando così anche il terminale del condensatore C11; saldi il terminale di base (B) sulla linguetta del capocorda CA58 ed il terminale di emettitore (E) sulla linguetta del capocorda CA57.

Durante la saldatura eviti di surriscaldare il transistor; a tale

scopo è opportuno serrarne i terminali con le pinze, come già detto in precedenza.

Terminato il montaggio elettrico dell'amplificatore BF, controlli attentamente il lavoro eseguito con l'aiuto della *fig. 15*.

Se, durante questa verifica, non riscontra alcuna irregolarità, esegua il controllo a freddo del circuito seguendo le indicazioni fornite dalla tabella della *fig. 16*.

Se in qualche punto dovesse rilevare un valore di resistenza molto differente da quello indicato, può ritenere che nel circuito vi sia qualche componente difettoso; per individuare rapidamente questo componente segua i suggerimenti forniti nella tabella della *fig. 17*.

Dopo avere concluso con esito positivo il controllo a freddo può effettuare il controllo sotto tensione del circuito.

Per eseguire questo controllo deve collegare, tramite la treccia a due colori proveniente dai capicorda CA48 e CA49 della basetta D, l'alimentatore realizzato sul telaio A all'avvolgimento secondario di 6,3 V del trasformatore di alimentazione montato sul ricevitore.

Saldi l'estremo libero del filo trecciola verde, proveniente dal capocorda CA48, sull'ancoraggio A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore.

Saldi l'estremo libero del filo trecciola nero, proveniente dal capocorda CA49, sull'ancoraggio A4 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore.

Ora deve collegare al potenziometro P3 del ricevitore uno spezzone di cavetto schermato munito all'estremità libera di due banane; questo spezzone verrà utilizzato nel controllo funzionale. A tale scopo può utilizzare lo spezzone di cavetto schermato, munito ad entrambe le estremità di due banane, che ha realizzato nella *Pratica 34°*, preparandolo adeguatamente.

Dissaldi le due banane da una delle due estremità del cavetto schermato realizzato nella *Pratica 34°*; questo estremo del cavetto privo di banane può ora essere saldato al potenziometro.

Saldi il conduttore interno del cavetto schermato sulla linguetta F del potenziometro P3 e la calza schermante sulla linguetta I.

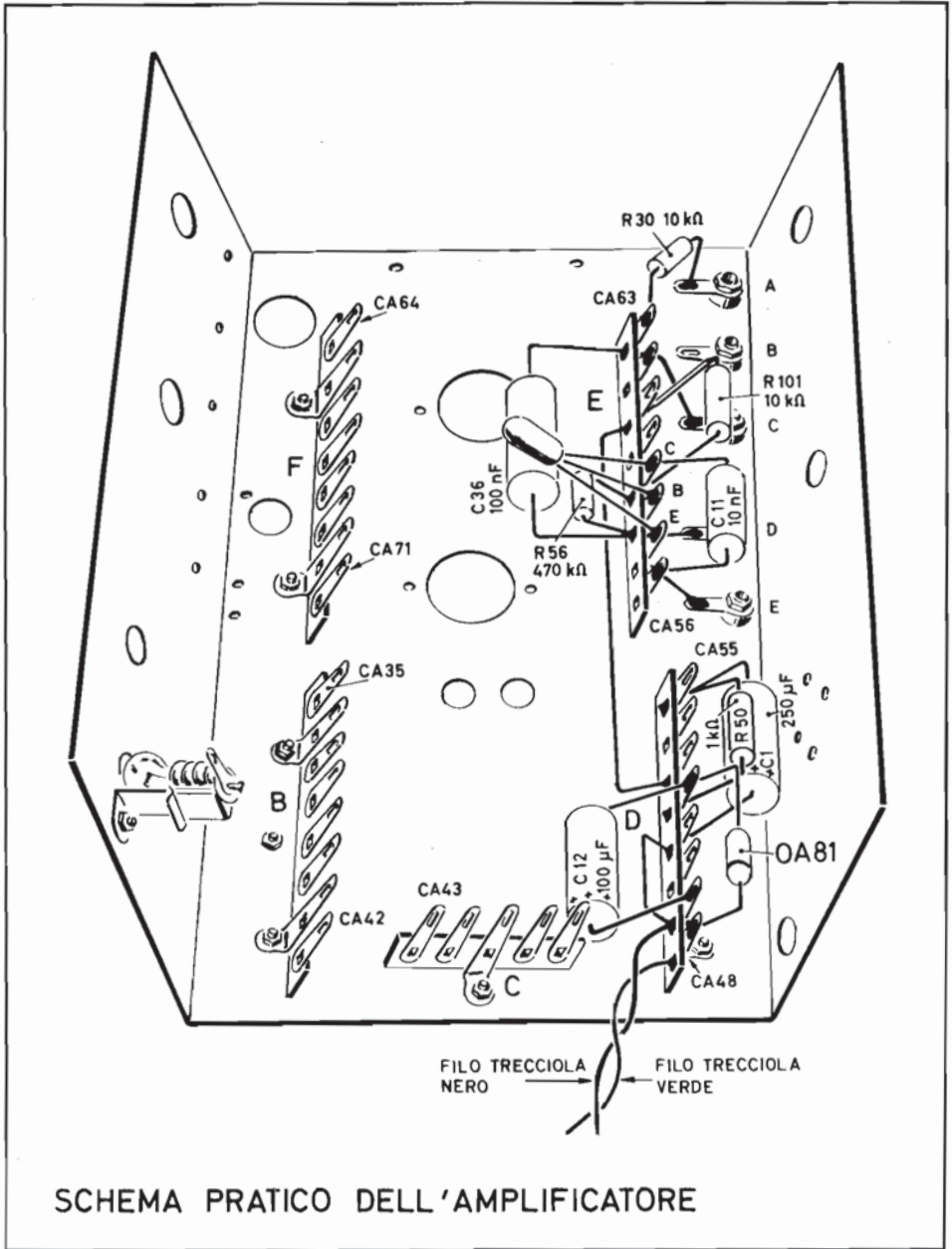


Fig. 15

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DELL'OHMMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V E DA 1.000 Ω/V
1	Fra massa e CA52	R x 1.000	50 kΩ + 500 kΩ
2	Fra massa e CA55	R x 1.000	50 kΩ + 500 kΩ
3	Fra CA55 e CA52	R x 10	850 Ω + 1.150 Ω
4	Puntale rosso su CA48 e puntale nero su CA52	R x 1.000	da alcune centinaia di ohm a 2 kΩ
5	Puntale rosso su CA52 e puntale nero su CA48	R x 1.000	da alcune centinaia di chiloohm a 2 MΩ
6	Fra boccola verde e CA63	R x 1.000	8.500 Ω + 11.500 Ω
7	Fra CA63 e CA58	R x 1.000	nessuno spostamento dell'indice
8	Fra CA61 e CA59	R x 1.000	8.500 Ω + 11.500 Ω
9	Fra CA56 e CA59	R x 1.000	nessuno spostamento dell'indice
10	Puntale rosso su CA59 e puntale nero su CA58	R x 1.000	400 kΩ + 540 kΩ
CONTROLLO A FREDDO DEL CIRCUITO			

Fig. 16

PUNTI TRA I QUALI SI E' MISURATO IL VALO- RE IRREGOLARE DI RE- SISTENZA	CAUSA PROBABILE
Tra CA52 e massa	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C12 da 100 μF in cortocircuito - Condensatore C1 da 250 μF in cortocircuito
Tra CA55 e CA52	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R50 da 1 kΩ avariato
Tra CA52 e CA48	<ul style="list-style-type: none"> - Diodo al germanio interrotto o in cortocircuito
Tra boccola verde e CA63	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R30 da 10 kΩ avariato
Tra CA63 e CA58	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C36 da 100 nF in cortocircuito
Tra CA61 e CA59	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R101 da 10 kΩ alterato
Tra CA59 e CA58	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R56 da 470 kΩ alterato
CONSULENZA SULLE IRREGOLARITA' NEL CONTROLLO A FREDDO DEL CIRCUITO	

Fig. 17

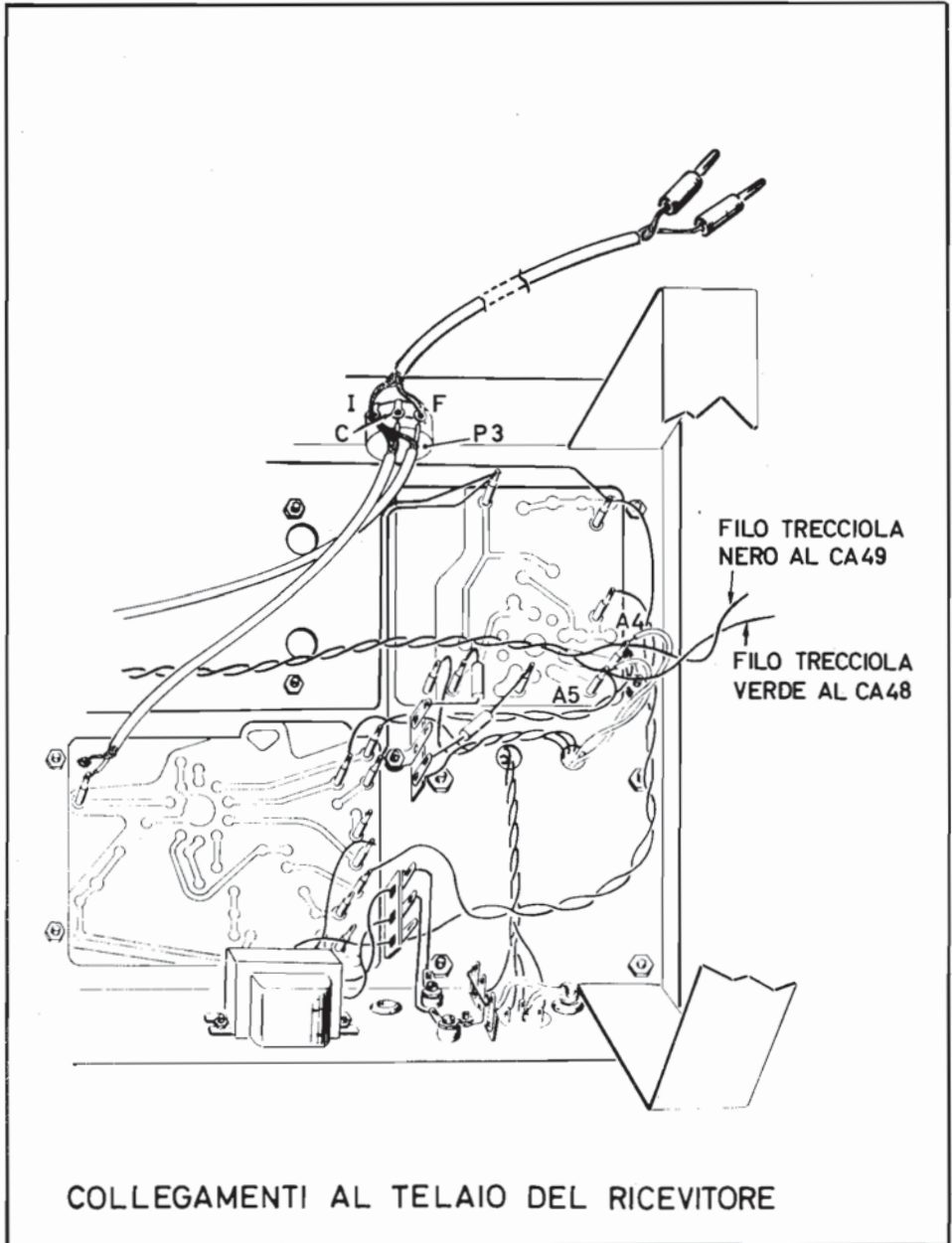


Fig. 18

I collegamenti ora eseguiti al telaio del ricevitore sono illustrati nella *fig. 18*.

Eseguirà ora il controllo sotto tensione dell'alimentatore; se le misure risulteranno regolari collegherà l'amplificatore all'alimentatore ed effettuerà la misura delle tensioni di collettore e di base del transistore.

Da tensione al ricevitore: in tal modo al diodo dell'alimentatore montato sul telaio A è applicata la tensione di 6,3 V da raddrizzare.

Esegua le misure di tensione fra massa ed i capicorda della batteria D attenendosi alle indicazioni fornite nella tabella della *fig. 19*.

Se qualche tensione non fosse compresa nei limiti stabiliti, spenga il ricevitore e controlli i componenti del circuito dell'alimentatore.

Ottenuto esito positivo dalla misura della tensione dell'alimentatore, può eseguire la misura della corrente di collettore del transistore.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DEL VOLTMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 1.000 Ω/V
1	Fra CA48 e massa	10 V CA	5 V CA \pm 7 V CA	5 V CA \pm 7 V CA
2	Fra CA52 (-) e massa (+)	30 V CC	6,4 V CC \pm 9,5 V CC	6 V CC \pm 9 V CC
3	Fra CA55 (-) e massa (+)	30 V CC	6,4 V CC \pm 9,5 V CC	5,5 V CC \pm 8 V CC
CONTROLLO SOTTO TENSIONE DELL'ALIMENTATORE				

Fig. 19

Disponga l'analizzatore per la misura della corrente continua con la portata di 1 mA f.s.; metta il puntale rosso del milliamperometro a contatto con il capocorda CA53 della basetta D ed il puntale nero a contatto con il capocorda CA55 della stessa basetta (la disposizione dei puntali è illustrata nella *fig. 20*): l'indice dello strumento deve indicare un valore di corrente compreso fra 0,30 mA e 0,45 mA.

Eseguita la misura della corrente di collettore, può collegare l'amplificatore all'alimentatore.

Spegna il ricevitore. Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 3 cm e lo disponga fra le linguette dei capicorda CA55 e CA53, dal lato esterno della basetta D; esegua la saldatura su entrambi i punti; il collegamento ora realizzato è riportato nella *fig. 21*. Dia nuovamente tensione al ricevitore.

Innanzitutto deve eseguire la misura della tensione fornita dall'alimentatore con l'amplificatore ad esso collegato.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V f.s. Tocchi con il puntale rosso il telaio e con il puntale nero il capocorda CA53 della basetta D: l'indice dello strumento deve indicare una tensione compresa fra 6 V CC e 9 V CC (se invece la misura è effettuata con un analizzatore la cui sensibilità è di 1.000 Ω/V la tensione misurata deve essere compresa fra 5,3 V CC e 7,6 V CC).

Mantenendo il puntale rosso a contatto con il telaio porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA59 della basetta E (corrispondente al collettore): lo strumento deve indicare un valore di tensione compreso fra -3,1 V CC e -4,5 V CC.

Disponga infine il voltmetro con la portata 1 V CC f.s. Mantenendo sempre il puntale rosso a contatto con il telaio, porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA58 della basetta E (corrispondente alla base); lo strumento deve indicare una tensione compresa fra -0,09 V CC e -0,12 V CC.

Le misure di tensione sono così terminate; spenga pertanto il ricevitore.

Può ora accingersi ad eseguire il controllo funzionale, durante il quale misurerà l'amplificazione dell'amplificatore a transistor realizzato sul telaio A.

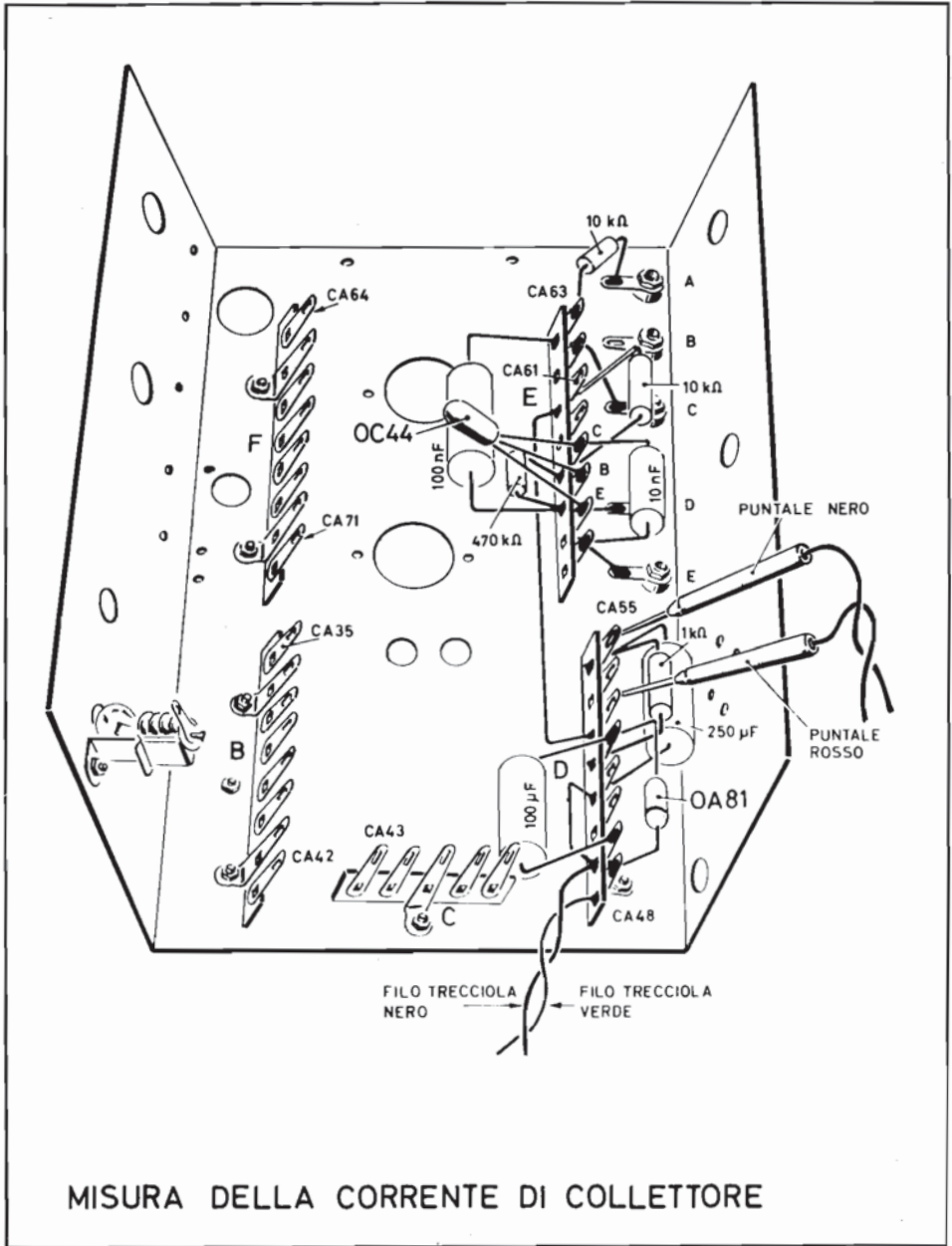


Fig. 20

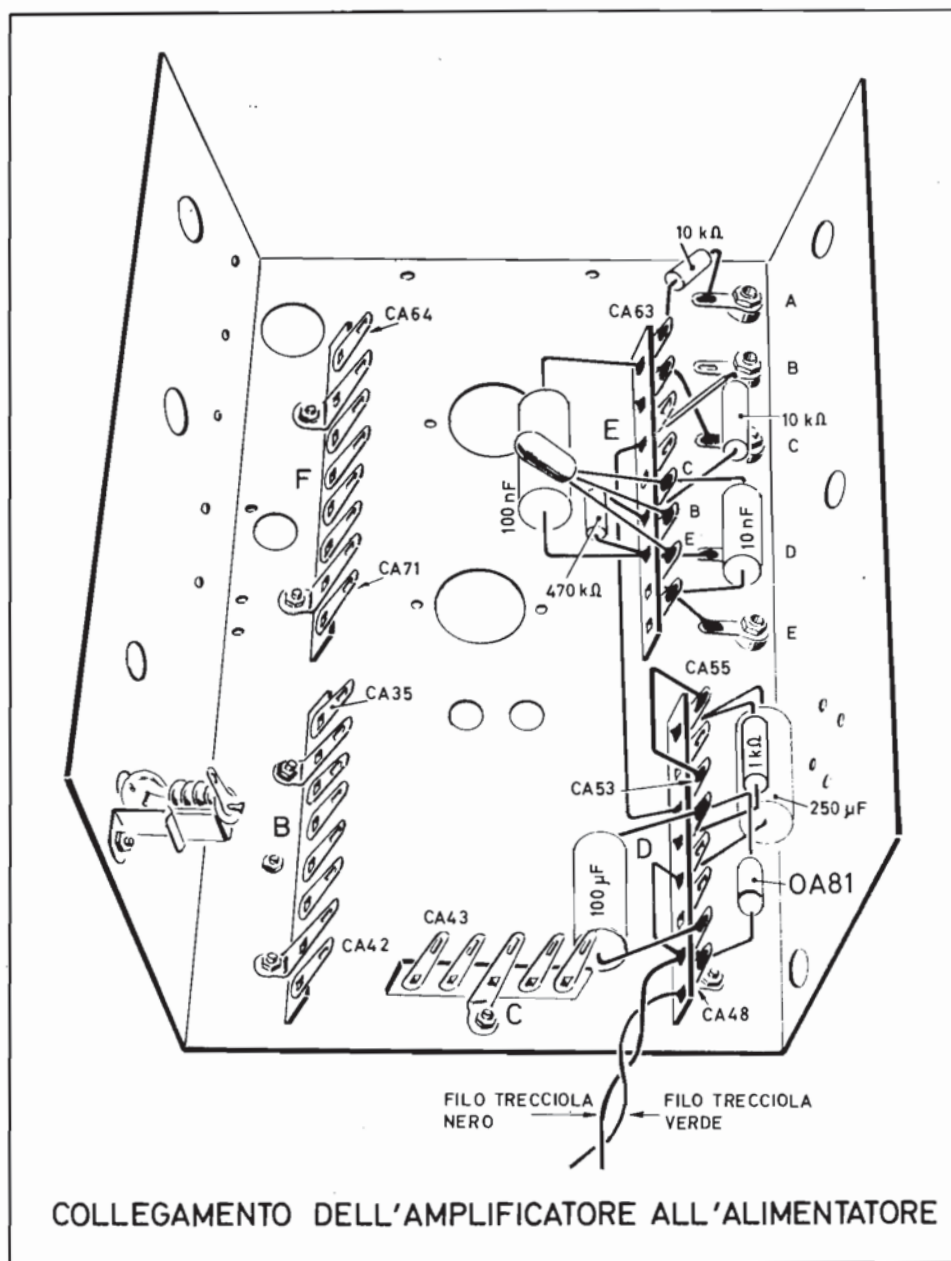


Fig. 21

Per effettuare questo controllo deve utilizzare l'oscillatore modulato, il provacircuiti a sostituzione, l'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore ed infine l'analizzatore.

Disponga quindi tutti questi apparecchi sul tavolo di lavoro a portata di mano. Innesti il tubo EZ81 nel relativo zoccolo portatubo (Z6) del circuito dell'alimentatore montato sul ricevitore, ed il tubo ECL82 nello zoccolo portatubo (Z7) del circuito dell'amplificatore anch'esso montato sul telaio del ricevitore.

Innesti la banana rossa del cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato nella boccia gialla H del provacircuiti a sostituzione e la banana nera nella boccia rossa G dello stesso provacircuiti.

Innesti la banana rossa del cavetto schermato proveniente dal potenziometro P3 del ricevitore nella boccia verde C del provacircuiti a sostituzione, e la banana nera, dello stesso cavetto, nella boccia rossa B.

Disponga i comandi dell'oscillatore modulato nelle seguenti posizioni:

- commutatore di gamma sulla posizione BF;
- interruttore di modulazione sulla posizione MOD. INT.;
- manopola dell'attenuatore sulla posizione 1 della scala graduata; *è molto importante che la manopola dell'attenuatore sia su tale posizione*, perché se il segnale applicato all'ingresso dell'amplificatore BF da controllare è di ampiezza più elevata si ha distorsione del segnale amplificato e quindi un'alterazione della misura di questo.

Disponga i comandi del provacircuiti a sostituzione nelle seguenti posizioni:

- commutatore S2 sulla posizione P;
- interruttore sulla posizione S;
- potenziometro sulla posizione 10 della prima scala graduata interna;
- il commutatore S1 può essere disposto su qualsiasi posizione.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione BF con portata 100 V CA f.s.

Innesti la punta metallica del puntale nero in uno dei fori aventi

il diametro di 3 mm praticati sul telaio del ricevitore; metta il puntale rosso a contatto con il cilindretto d'ancoraggio A13 del circuito stampato dell'amplificatore, corrispondente all'anodo del tubo finale di potenza.

I collegamenti eseguiti sono illustrati nella *fig. 22*.

Accenda l'oscillatore modulato ed il ricevitore. Regoli il potenziometro del volume del ricevitore sino a che l'indice del misuratore d'uscita indichi una certa tensione, ad esempio 25 V CA: contemporaneamente dall'altoparlante deve udire la nota acustica dell'oscillatore.

Deve ora interporre fra il provacircuiti e l'amplificatore BF del ricevitore l'amplificatore realizzato sul telaio A, di cui deve misurare l'amplificazione.

Disinnesti le banane del cavetto schermato proveniente dal potenziometro P3 del ricevitore dalle boccole rossa B e verde C del provacircuiti a sostituzione.

Il potenziometro di volume del ricevitore *non deve essere ruotato* dalla sua posizione.

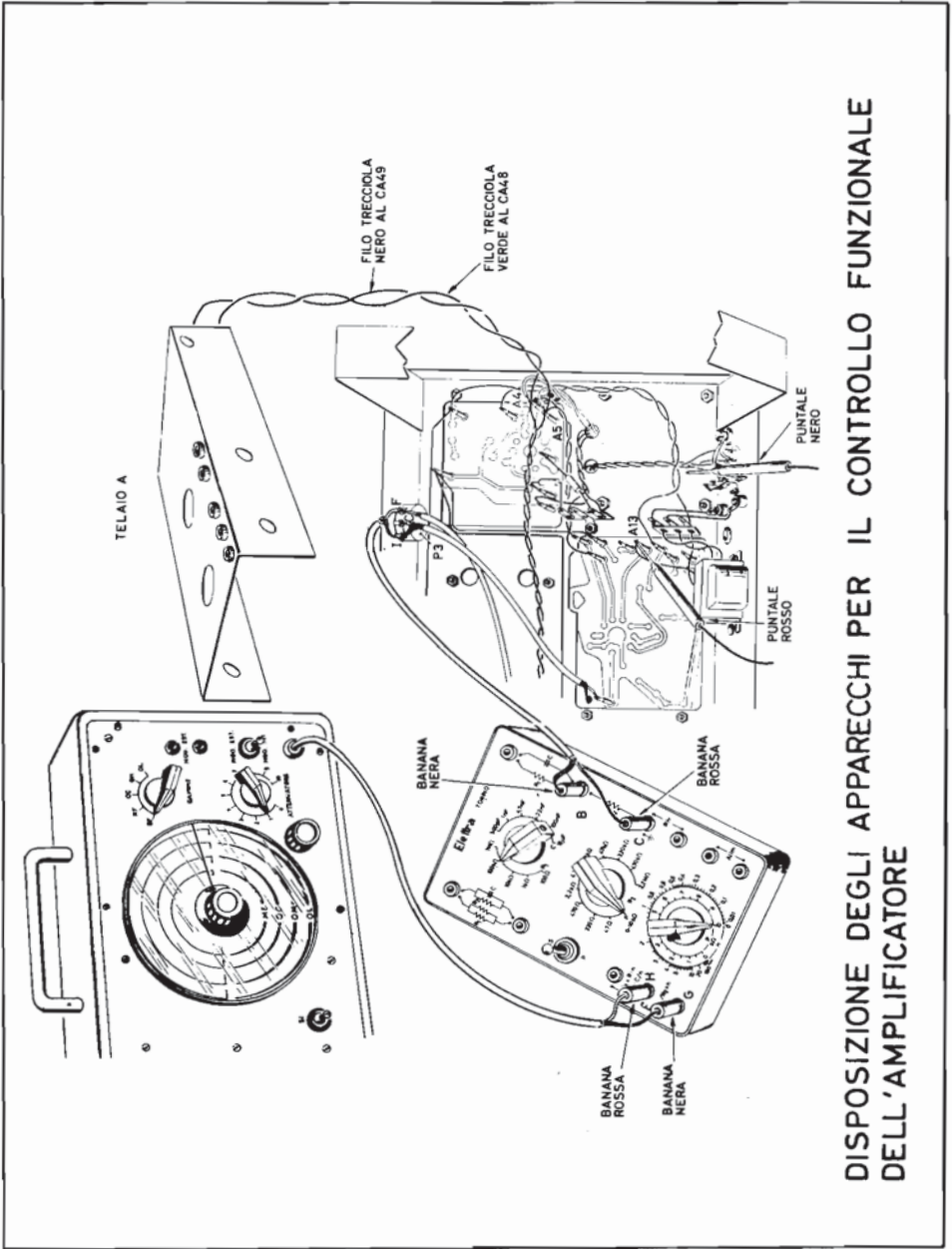
Innesti la banana rossa del cavetto schermato proveniente dal potenziometro del ricevitore nella boccola rossa E del telaio A e la banana nera del medesimo cavetto nella boccola rossa D.

Innesti la banana di un connettore nero nella boccola rossa B del provacircuiti a sostituzione e serri, con il coccodrillo posto all'estremità opposta del connettore, il telaio A.

Prenda lo spezzone di filo trecciola munito all'estremità di banane che ha realizzato nelle precedenti lezioni pratiche. Innesti la banana posta ad un'estremità dello spezzone nella boccola verde A del telaio A e la banana posta all'altra estremità dello spezzone nella boccola verde C del provacircuiti. I collegamenti realizzati sono indicati nella *fig. 23*.

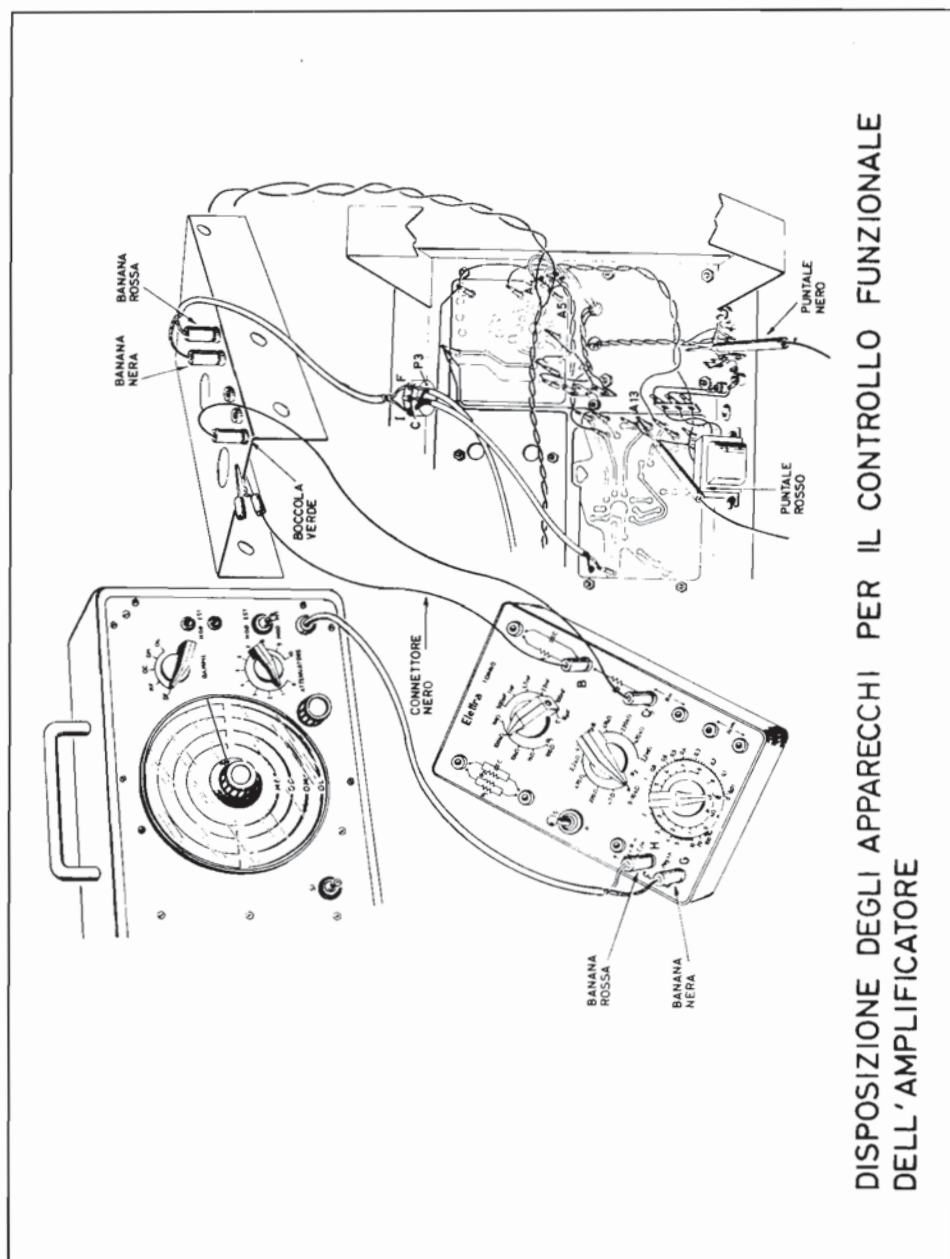
La nota acustica viene ora riprodotta dall'altoparlante dell'amplificatore montato sul telaio del ricevitore con intensità maggiore; infatti il segnale emesso dall'oscillatore modulato risulta amplificato dall'amplificatore a transistor prima di essere applicato all'ingresso dell'amplificatore a tubi.

Ruoti la manopola del potenziometro del provacircuiti a sostituzione verso sinistra sino a che l'indice dell'analizzatore, collegato al-



DISPOSIZIONE DEGLI APPARECCHI PER IL CONTROLLO FUNZIONALE DELL'AMPLIFICATORE

Fig. 22



DISPOSIZIONE DEGLI APPARECCHI PER IL CONTROLLO FUNZIONALE
DELL'AMPLIFICATORE

Fig. 23

l'uscita dello stadio finale montato sul telaio del ricevitore, indichi nuovamente la tensione scelta prima, ad esempio 25 V CA.

In questo modo il potenziometro del provacircuito a sostituzione introduce un'attenuazione tale da compensare esattamente l'amplificazione del transistor: infatti la tensione all'uscita dello stadio finale è la stessa di prima. Basterà determinare questa attenuazione per conoscere l'amplificazione del transistor; a tale scopo è sufficiente dividere il numero 10, indicato precedentemente dalla manopola del potenziometro del provacircuito a sostituzione, per il valore che indica attualmente.

Ad esempio, se la tensione di 25 V all'uscita dello stadio finale è ora ottenuta quando la manopola del potenziometro del provacircuito è sulla posizione 1, si calcola $10 : 1 = 10$ e tale valore indica l'amplificazione dello stadio amplificatore a transistor. Se invece ora il potenziometro si trova sulla posizione 2, l'amplificazione è soltanto di $10 : 2 = 5$.

Conclusa la misura dell'amplificazione spenga il ricevitore e l'oscillatore modulato; stacchi i collegamenti fra i vari apparecchi. Dissaldi dagli ancoraggi A4 ed A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore i fili trecciola verde e nero provenienti dal telaio A.

Per ultimo può constatare che lo stadio amplificatore a transistor funziona regolarmente se alimentato da una pila da 9 V o anche da 4,5 V: per usare la pila deve staccare il filo isolato rosso dalla linguetta del capocorda CA53 e collegarlo al terminale negativo della pila, mentre il terminale positivo di questa va collegato al telaio. Il diodo ed il collegamento al secondario di 6,3 V del trasformatore di alimentazione risultano in tal caso inutilizzati.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 6*

1. - Che cosa è il quadripolo?
 2. - Quanti circuiti fondamentali si possono realizzare con il transistor?
Quali sono?
 3. - Che cosa è il coefficiente di amplificazione β (beta)?
 4. - Che cosa sono le caratteristiche d'uscita del transistor?
 5. - Perché si richiede la stabilizzazione in corrente continua dell'amplificatore ad emettitore comune?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 5*

1. - L'effetto transistoro consiste nella possibilità di comandare la corrente di un circuito mediante la tensione e la corrente di un altro circuito.
 2. - Nel transistoro si trovano due giunzioni P-N.
 3. - Il transistoro P-N-P è costituito da un monocristallo nel quale si formano tre strati semiconduttori: uno strato P, detto emettitore; uno strato N, detto base; un altro strato P, detto collettore.
 4. - Il transistoro N-P-N è costituito da un monocristallo nel quale si formano tre strati semiconduttori: uno strato N, detto emettitore; uno strato P, detto base; un altro strato N, detto collettore.
 5. - Il prodotto letterale αI_E esprime la parte della corrente di emettitore (I_E) che attraversa la base ed entra nel circuito di collettore.
-

(43)

In questa lezione passeremo in rassegna i principali procedimenti adottati nella produzione dei transistori su scala industriale.

I primi transistori venivano fabbricati con un procedimento simile a quello dei diodi a punta di contatto (*Transistori 4°, paragrafo 2*); però in seguito, a partire dal 1950, si adottarono vari altri metodi, che in linea di principio si potrebbero ricondurre a tre diversi processi di formazione delle giunzioni P-N: il processo di *lega* e quello di *diffusione*, già considerati nello studio dei diodi, ed il processo dell'*accrescimento controllato*, che consiste nella formazione delle giunzioni P-N durante la crescita del monocristallo.

Attualmente i transistori della produzione industriale per radio ed amplificatori, o per uso generale, sono ottenuti quasi esclusivamente con i processi di lega e di diffusione; perciò nel seguito della lezione ci limiteremo a considerare questi due processi, trascurando quello dell'accrescimento controllato.

1. - TRANSISTORI A GIUNZIONI DI LEGA

La tecnica della giunzione di lega consiste essenzialmente nel mettere a contatto una piastrina di semiconduttore con una certa dose di materiale d'impurità e nel riscaldare questo materiale ad una temperatura sopra il suo punto di fusione. In queste condizioni si forma una lega costituita dal materiale d'impurità e dalla parte superficiale del semiconduttore. Successivamente, con il raffreddamento della lega e della piastrina, una certa quantità di atomi d'impurità resta inclusa nel reticolo cristallino del semiconduttore in modo da formare una zona di tipo N, oppure di tipo P, nettamente distinta dal resto della piastrina. Se la piastrina è del tipo N, si usano materiali d'impurità tali che dopo il raffreddamento si abbia una zona P; viceversa, se la piastrina è del

tipo P si usano materiali d'impurità adatti per determinare la formazione di una zona N. La giunzione fra la zona di nuova formazione ed il resto della piastrina costituisce una giunzione P-N.

Per ottenere un transistor occorre formare in una stessa piastrina due giunzioni P-N; perciò lo stesso trattamento viene eseguito contemporaneamente su due facce opposte della medesima piastrina, in modo da determinare entrambe le giunzioni richieste.

Nella *fig. 1* sono presentate le sezioni di due transistori a lega.

Si tratta di transistori P-N-P al germanio, usati correntemente nei radioricevitori per modulazione d'ampiezza e negli amplificatori di bassa frequenza.

Il transistoro della *fig. 1-a* è stato costruito per funzionare come amplificatore di tensione negli stadi preamplificatori di bassa frequenza, o negli stadi oscillatori e convertitori per onde medie, o negli amplificatori di frequenza intermedia; la stessa struttura è stata pure adottata nella costruzione di alcuni tipi di transistori da impiegare negli stadi finali, per potenze d'uscita inferiori a 1 W.

Il transistoro della *fig. 1-b* è stato invece costruito per funzionare come amplificatore finale di bassa frequenza, per potenze uguali o superiori a 1 W.

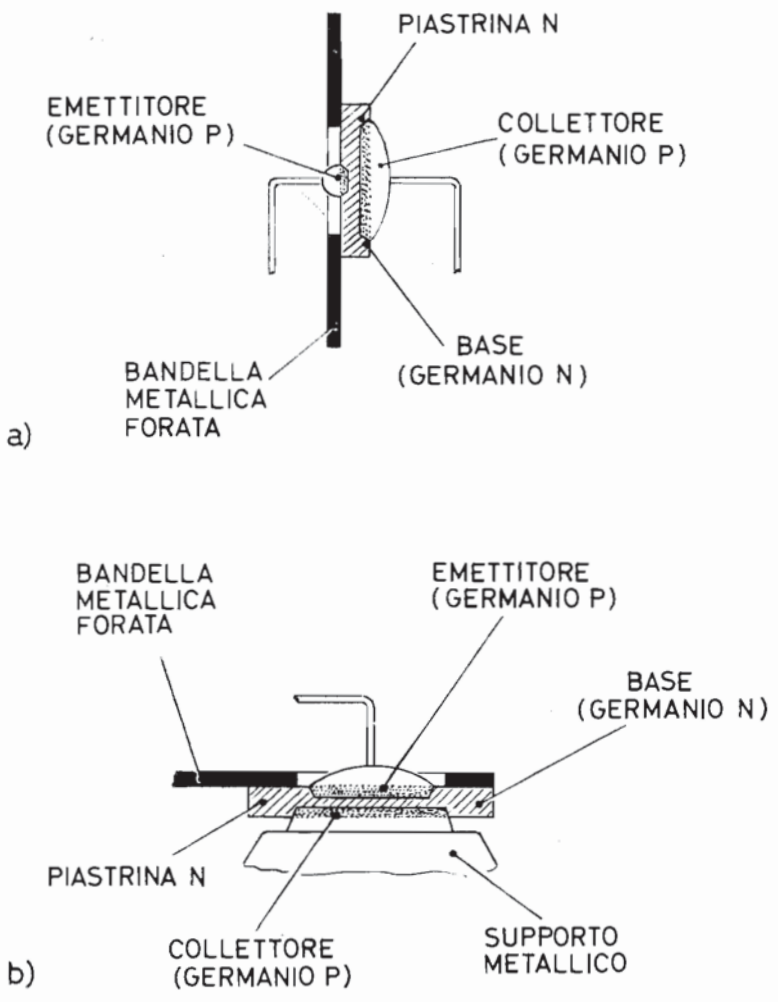
Le due strutture sono state ottenute con lo stesso processo di lega, in piastrine ricavate da monocristallo di germanio N.

Le piastrine costituiscono l'elettrodo di base; le zone P, formate sulle facce opposte delle piastrine, costituiscono rispettivamente gli elettrodi di emettitore e di collettore.

Ciascuna piastrina viene saldata ad una bandella metallica forata, disponendo l'elettrodo d'emettitore al centro del foro in modo che l'emettitore non venga a contatto con la bandella; l'elettrodo di collettore viene a trovarsi in tal modo dalla parte opposta della bandella.

Nella struttura della *fig. 1-b* gli elettrodi sono più largamente dimensionati di quelli della *fig. 1-a*; ciò è stato previsto affinché essi possano condurre correnti più intense senza che si verifichi un eccessivo riscaldamento.

Inoltre, sempre nella struttura della *fig. 1-b*, l'elettrodo di collettore



STRUTTURE DI TRANSISTORI A LEGA

Fig. 1

appare montato su un supporto metallico abbastanza esteso; quest'altro accorgimento è stato adottato per aumentare la potenza del transistor favorendo la dissipazione del calore durante il suo funzionamento.

Nella *fig. 2* si può vedere come siano sistemati nell'apposito contenitore di vetro i transistori del tipo presentato schematicamente nella *fig. 1-a*.

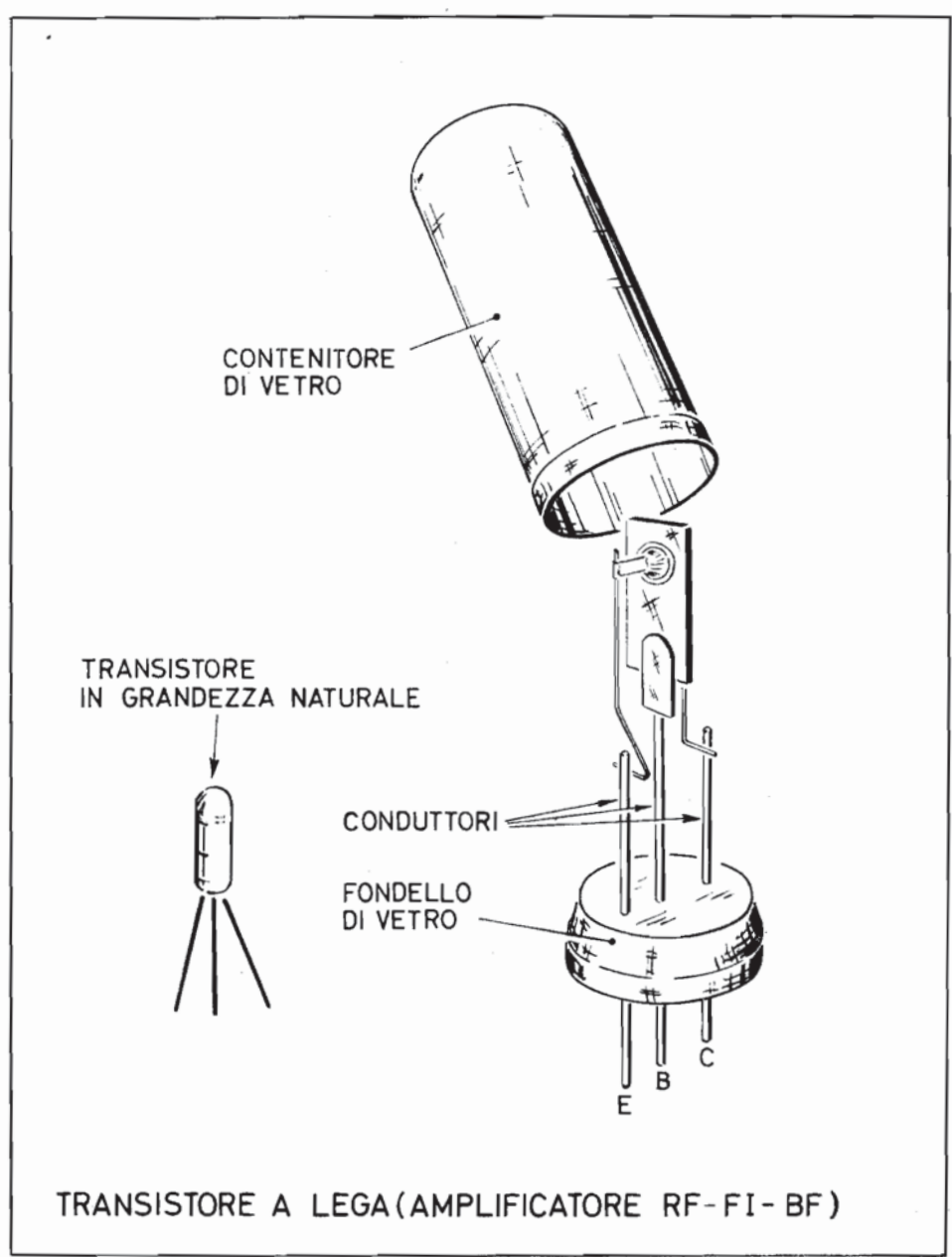
La superficie esterna del contenitore e la base inferiore del fondello in genere sono ricoperte di vernice nera, la quale ha lo scopo di impedire che la luce influisca sul funzionamento del transistor alterandone le caratteristiche.

L'interno del contenitore viene riempito di grasso al silicone, che serve a prevenire alterazioni superficiali del semiconduttore ed a smorzare eventuali vibrazioni meccaniche del transistor. Se si tratta di un transistor finale di potenza si ricopre il contenitore con un cilindro metallico che, oltre a proteggere il dispositivo dalla luce, serve a migliorare la sua dissipazione del calore.

Nella *fig. 3* è illustrato un transistor di potenza del tipo presentato schematicamente nella *fig. 1-b*. L'insieme del fondello e della capsula formano un blocco metallico avente una buona capacità di dissipare il calore prodotto durante il funzionamento del transistor. Inoltre, per migliorare la dissipazione termica si provvede anche a saldare direttamente al fondello l'elettrodo di collettore, che è quello maggiormente soggetto a scaldarsi; in tal modo il fondello potrà funzionare da radiatore di calore e nello stesso tempo potrà sostituire il terminale esterno di collettore (C), che perciò risulta mancante. Nell'insieme il dispositivo viene ad avere una struttura robusta, compatta e quindi particolarmente resistente alle varie sollecitazioni termiche e meccaniche, interne ed esterne.

Con la tecnica delle giunzioni di lega è stato possibile costruire transistori P-N-P per frequenze di funzionamento fino a 15 MHz e transistori N-P-N per frequenze fino a 30 MHz.

In genere la risposta di un transistor alle alte frequenze dipende dal tempo di transito delle cariche elettriche che costituiscono il flusso di corrente nell'elettrodo di base, cioè dal tempo che gli elettroni impiegano ad attraversare la zona P del transistor N-P-N, o che i buchi impiegano ad attraversare la zona N del transistor P-N-P. Se si riduce il tempo di transito migliora la risposta in frequenza del transistor.



TRANSISTORE A LEGA (AMPLIFICATORE RF-FI-BF)

Fig. 2

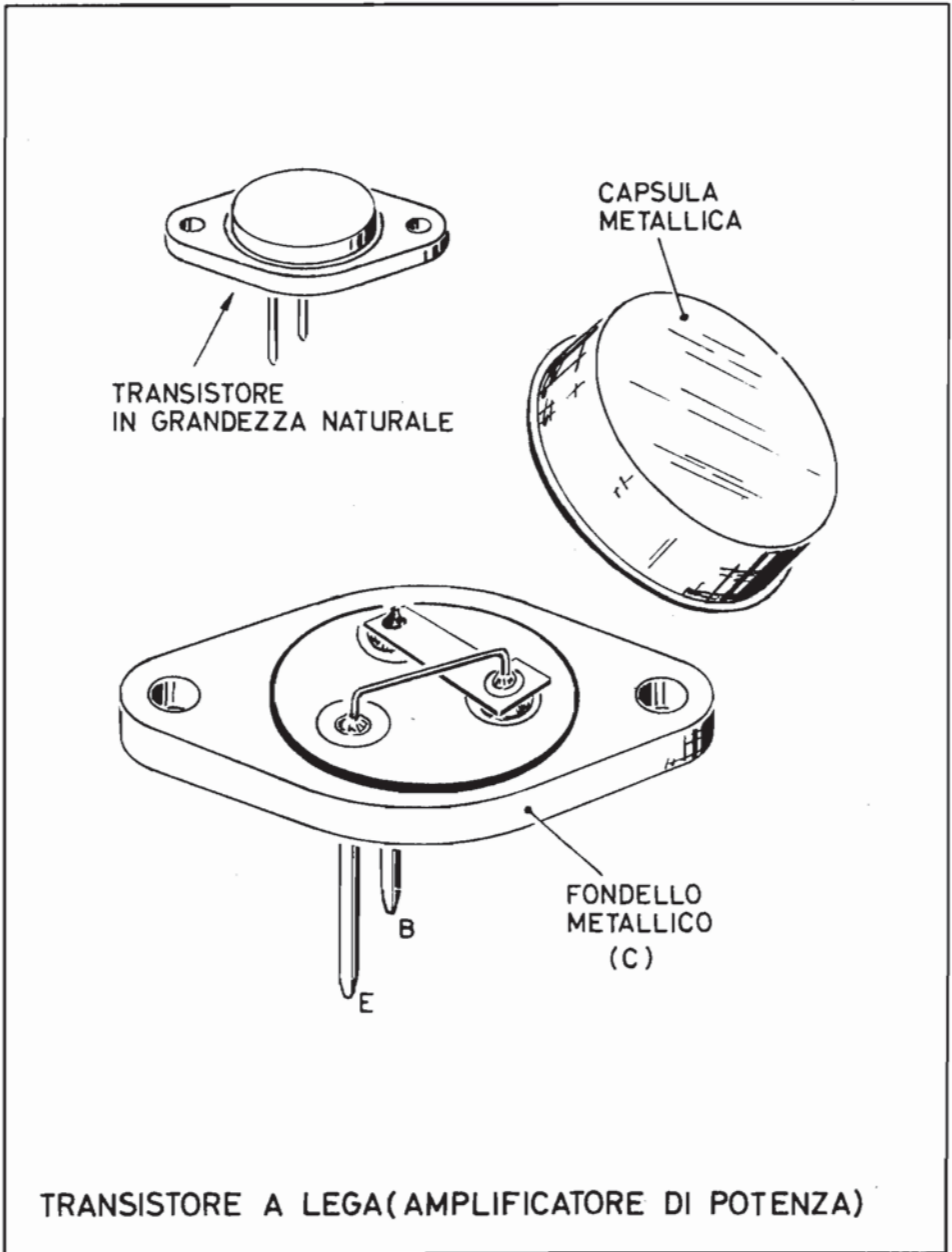


Fig. 3

La riduzione del tempo di transito nell'elettrodo di base si può ottenere in due modi: diminuendo lo spessore della base e quindi il percorso delle cariche, oppure aumentando la velocità delle cariche stesse.

Lo spessore di base minimo ottenibile con il metodo delle giunzioni di lega è dell'ordine del millesimo di millimetro; ma anche con queste ridottissime dimensioni non è possibile raggiungere tempi di transito sufficientemente brevi, così da avere normali transistori a lega per frequenze superiori a 30 MHz. Perciò, a questo punto, per migliorare ulteriormente la risposta in frequenza del transistor a lega si deve ricorrere ad accorgimenti tecnologici che consentano di accelerare le cariche nell'elettrodo di base.

Lo scopo di accelerare le cariche è stato ottenuto graduando opportunamente la concentrazione degli atomi d'impurità lungo lo spessore della piastrina destinata alla costruzione del transistor a lega. Così facendo nell'elettrodo di base, il quale conserva la struttura originaria della piastrina, si avrà una graduazione della concentrazione degli atomi d'impurità passando dall'emettitore al collettore: questa graduazione è detta GRADIENTE D'IMPURITÀ.

Nella *fig. 4* si può osservare il gradiente d'impurità nell'elettrodo di base di un transistor: infatti gli atomi d'impurità sono più numerosi sul lato dell'emettitore e diminuiscono andando verso il collettore.

Ricordiamo ora che la base di un transistor N-P-N quale quello rappresentato nella *fig. 4* è costituita da un semiconduttore di tipo P, cioè da un semiconduttore nel quale gli atomi d'impurità hanno acquistato un elettrone e quindi sono altrettante cariche fisse negative. La maggiore concentrazione degli atomi d'impurità sul lato dell'emettitore rispetto al lato del collettore determina una maggiore concentrazione di cariche negative sul lato dell'emettitore rispetto al lato del collettore, cioè determina una certa differenza di potenziale, V_G , fra gli estremi dello spessore di base.

Questa differenza di potenziale, dovuta al gradiente d'impurità, è orientata in modo da fornire una spinta alle cariche elettriche mobili, cioè agli elettroni che attraversano la base; perciò con essa si ottiene in

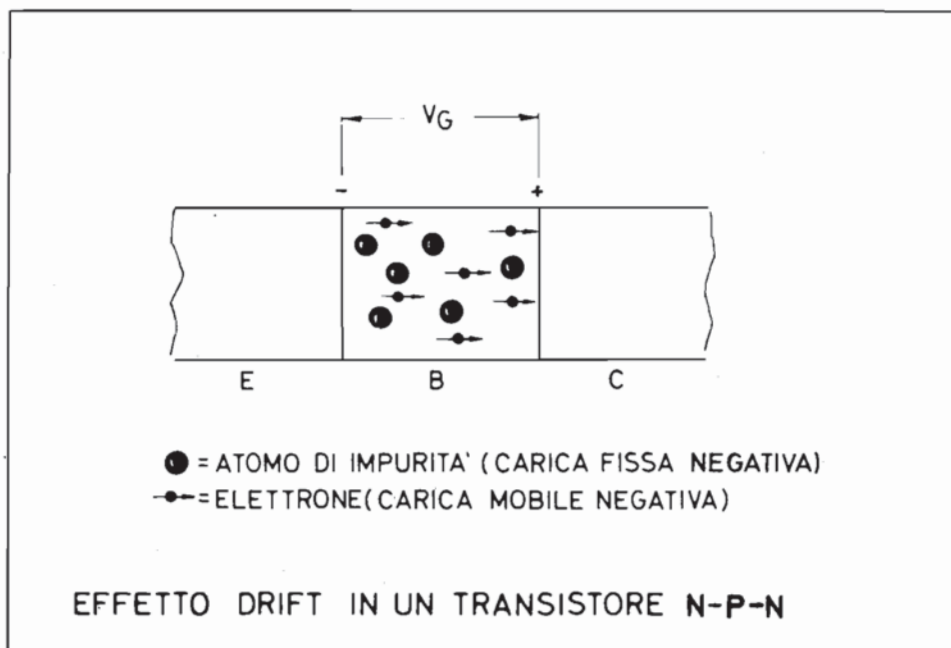


Fig. 4

definitiva un'accelerazione delle stesse cariche ed una conseguente riduzione del loro tempo di transito.

Il fenomeno ora descritto viene detto correntemente EFFETTO DRIFT (drift è un termine inglese che significa *spinta, deriva*).

Sono stati costruiti diversi tipi di transistori a lega per frequenze elevate, basati sull'effetto drift. Essi vengono usati nei circuiti a radiofrequenza ed a frequenza intermedia dei radioricevitori MA-MF e dei televisori.

2. - TRANSISTORI A GIUNZIONI DI DIFFUSIONE

La tecnica della giunzione di diffusione consiste essenzialmente nell'esposizione a vapori e nel moderato riscaldamento del semiconduttore destinato alla fabbricazione dei transistori.

In genere, scegliendo opportunamente la temperatura del semiconduttore ed usando determinati materiali allo stato di vapore, è possibile ottenere che un certo numero di atomi si diffonda nel reticolo cristallino del semiconduttore e formi una zona di tipo N, oppure di tipo P, nettamente distinta dal resto del semiconduttore originario. Se inizialmente il semiconduttore è di tipo P, bisognerà usare allo stato di vapore materiali che lo rendano di tipo N; viceversa, se inizialmente il semiconduttore è di tipo N, bisognerà usare materiali che lo rendano di tipo P.

Con questo sistema è possibile ottenere elettrodi di base molto sottili e regolarne lo spessore con notevole precisione, controllando la temperatura e la durata del processo di diffusione. Inoltre, negli elettrodi di base così formati si ha sempre un gradiente di concentrazione delle impurità, dal quale nascerà l'effetto drift già considerato durante lo studio dei transistori a lega. Così, riducendo lo spessore della base e sfruttando contemporaneamente l'effetto drift, si possono ottenere transistori per alte ed altissime frequenze, da impiegarsi nei ricevitori a modulazione di frequenza e nei televisori al posto dei transistori a lega basati sull'effetto drift.

Con il metodo della diffusione non si è però abbandonato completamente il metodo della lega. Anzi, gran parte dei transistori per bassa frequenza fabbricati attualmente in Europa sono ottenuti con il processo di lega ed alcuni tipi di transistori per alta frequenza sono ottenuti con processi misti, di lega e di diffusione.

Nella *fig. 5* si può vedere la struttura fondamentale e la costituzione interna di un transistor fabbricato con tecnica mista di diffusione e lega. Questi transistori sono talvolta indicati con la sigla americana MADT, formata dalle iniziali delle parole *Micro-Alloy Diffused-base Transistor* (transistore a microlega con base ottenuta per diffusione).

Vediamo brevemente le fasi principali della costruzione di questi transistori.

Inizialmente si dispone di pastiglie ricavate da un monocristallo di germanio P. Queste pastiglie vengono esposte a vapori d'impurità in modo da formare uno strato N abbastanza profondo. Poi ciascuna pastiglia viene suddivisa in un certo numero di piastrine e su ogni piastrina vengono poste due dosi nettamente separate di materiali d'impurità.

Una dose è costituita da materiali che, penetrando nello strato N

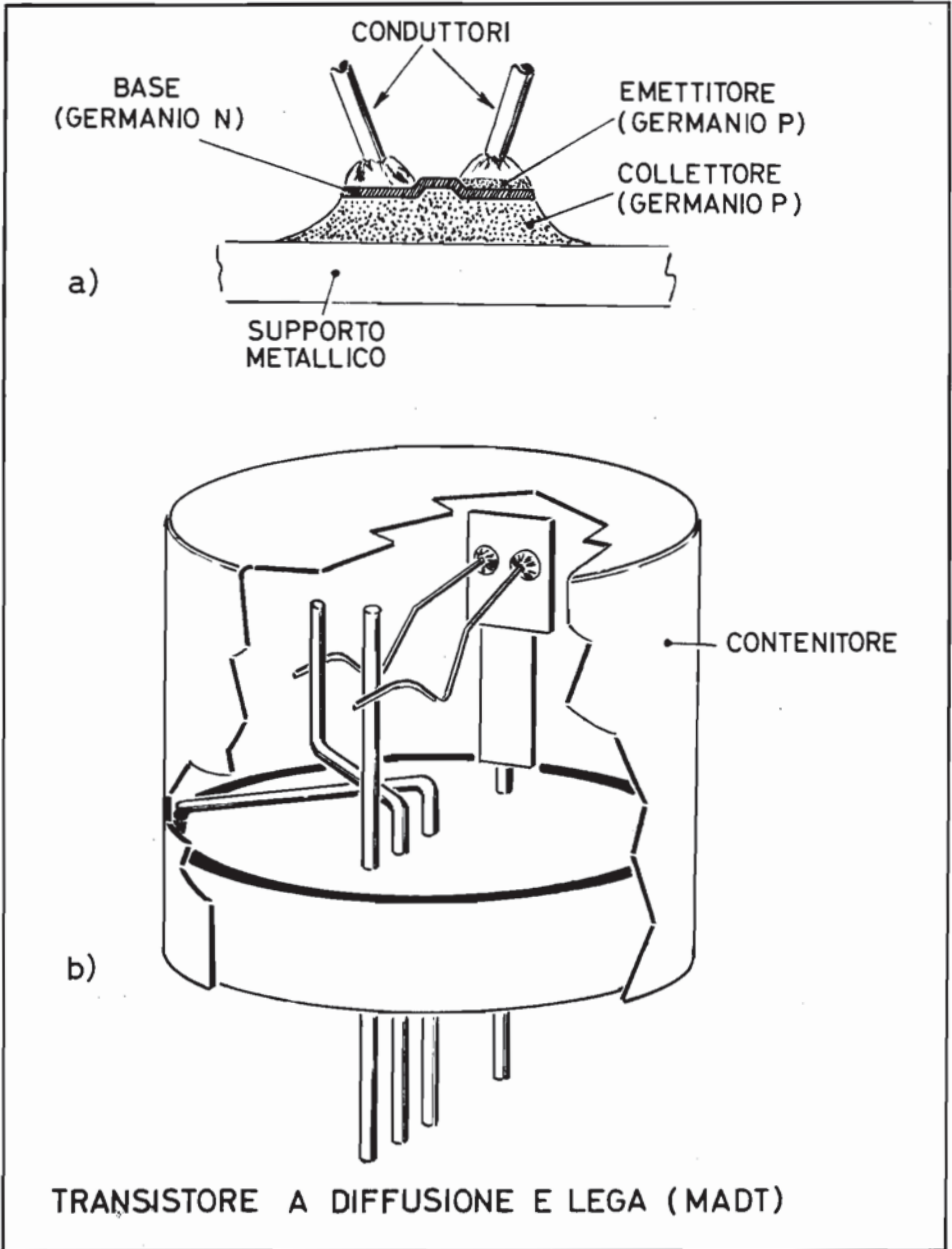


Fig. 5

ottenuto in precedenza, possano renderlo parzialmente di tipo P; l'altra dose deve essere costituita da materiali che lascino inalterate le caratteristiche fondamentali del semiconduttore N.

Riscaldando i materiali d'impurità alla loro temperatura di fusione si formano sullo strato N due processi di lega: l'uno relativo al primo tipo di materiale, mediante il quale si otterrà la formazione di uno strato P sullo strato N di diffusione; l'altro relativo al secondo tipo di materiale, mediante il quale si otterrà un semplice contatto elettrico per il collegamento esterno del medesimo strato N.

Terminati i processi di lega si incide ciascuna piastrina, e si asporta il suo bordo superiore, ottenendo la sagoma disegnata nella *fig. 5-a*.

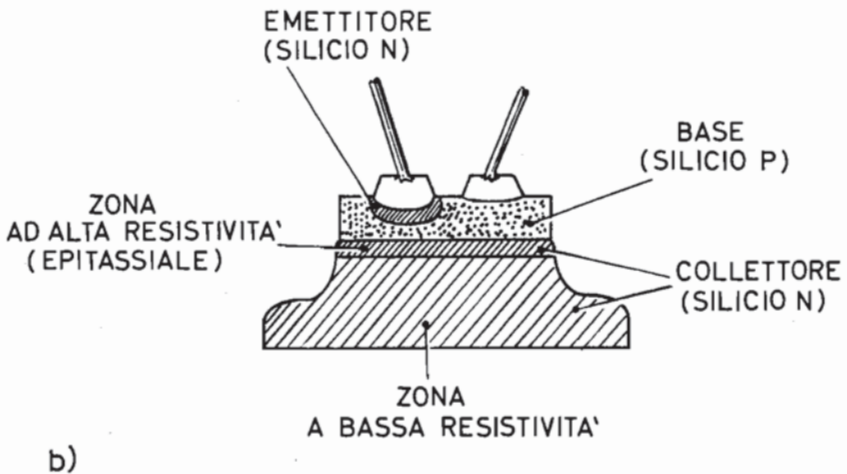
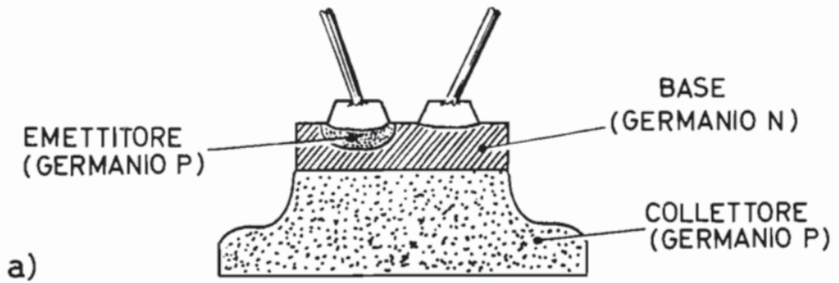
Il contenitore del transistor (*fig. 5-b*) viene riempito di grasso al silicone che, come già si è detto in precedenza, serve a proteggere il dispositivo dagli agenti chimici e dalle sollecitazioni meccaniche.

In altri tipi di transistori viene abbandonato il processo di lega, e viene ripetuto il processo di diffusione anche per la formazione dell'ultimo elettrodo, cioè quello di emettitore. Con questo metodo si sono ottenute le strutture fondamentali disegnate nella *fig. 6*.

Nella *fig. 6-a* si trova la sezione di un transistor a doppia diffusione, del tipo MESA. Il nome di questo transistor deriva dal termine spagnolo *mesa*, che significa *tavoliere* ed è usato correntemente in America per indicare alture tipiche del deserto di California e di altre regioni; queste alture sono formate da pareti laterali più o meno ripide, che terminano superiormente in una superficie piana abbastanza estesa. Il profilo del transistor mesa ricorda un po' le tipiche alture del deserto di California, e da ciò il suo nome.

La struttura riportata nella *fig. 6-b* ricorda anch'essa il profilo del mesa, ma differisce dalla precedente per il semiconduttore usato (silicio al posto del germanio), per la successione degli strati (N-P-N invece di P-N-P) e soprattutto per la suddivisione dell'elettrodo di collettore in due zone sovrapposte (zona ad alta resistività e zona a bassa resistività).

In genere l'elettrodo di collettore è costituito da una sola zona avente resistività abbastanza elevata ed uniforme; perciò, quando la corrente di collettore è vicina od uguale al valore massimo, si ha una



TRANSISTORI A DOPPIA DIFFUSIONE (MESA-EPITASSIALE)

Fig. 6

notevole caduta di tensione ed un'altrettanto notevole dissipazione di potenza elettrica.

Questo inconveniente si può attenuare riducendo la resistenza del collettore, cioè formando il collettore con uno strato fondamentale a bassa resistività e completandolo con uno strato ad alta resistività nella zona di contatto con l'elettrodo di base.

Lo strato ad alta resistività si ottiene facendo depositare su una pastiglia di semiconduttore a bassa resistività un altro semiconduttore dello stesso tipo, ma notevolmente più puro. Il deposito deve formarsi molto lentamente ed in condizioni di temperatura tali da consentire la regolare crescita del cristallo sul reticolo della pastiglia.

Il nuovo strato ad alta resistività viene indicato con il nome di STRATO EPITASSIALE.

Nello strato epitassiale successivamente si formano con il metodo della doppia diffusione l'elettrodo di base e quello di emettitore, lasciando libera una sottile zona che forma l'elettrodo di collettore in unione con la zona a bassa resistività.

Con la tecnica epitassiale ora descritta si costruiscono transistori da usare nei circuiti multivibratori dei calcolatori elettronici ed in altri circuiti dove il transistor debba funzionare con la massima corrente di collettore.

Esaminiamo ora brevemente un ultimo metodo di fabbricazione dei transistori con processo di doppia diffusione, cioè il metodo indicato correntemente con il nome di TECNICA PLANAR.

La tecnica planar consiste in una serie di operazioni, che si possono riassumere in tre fasi principali, rappresentate rispettivamente con i tre schemi della *fig. 7*.

Si prende la pastiglia di semiconduttore destinata alla costruzione di un certo numero di transistori e si ossida tutta la sua superficie in modo da ottenere uno strato protettivo contro le indebite azioni chimiche e fisiche esterne (*fig. 7-a*); si noti però che nella figura è stata rappresentata soltanto la parte di pastiglia che interessa per la formazione di un solo transistor.

Su una faccia della pastiglia viene asportata con attacco chimico una parte dell'ossido, in modo da scoprire il semiconduttore originario; si aprono così tante finestre quanti sono i transistori che si vogliono

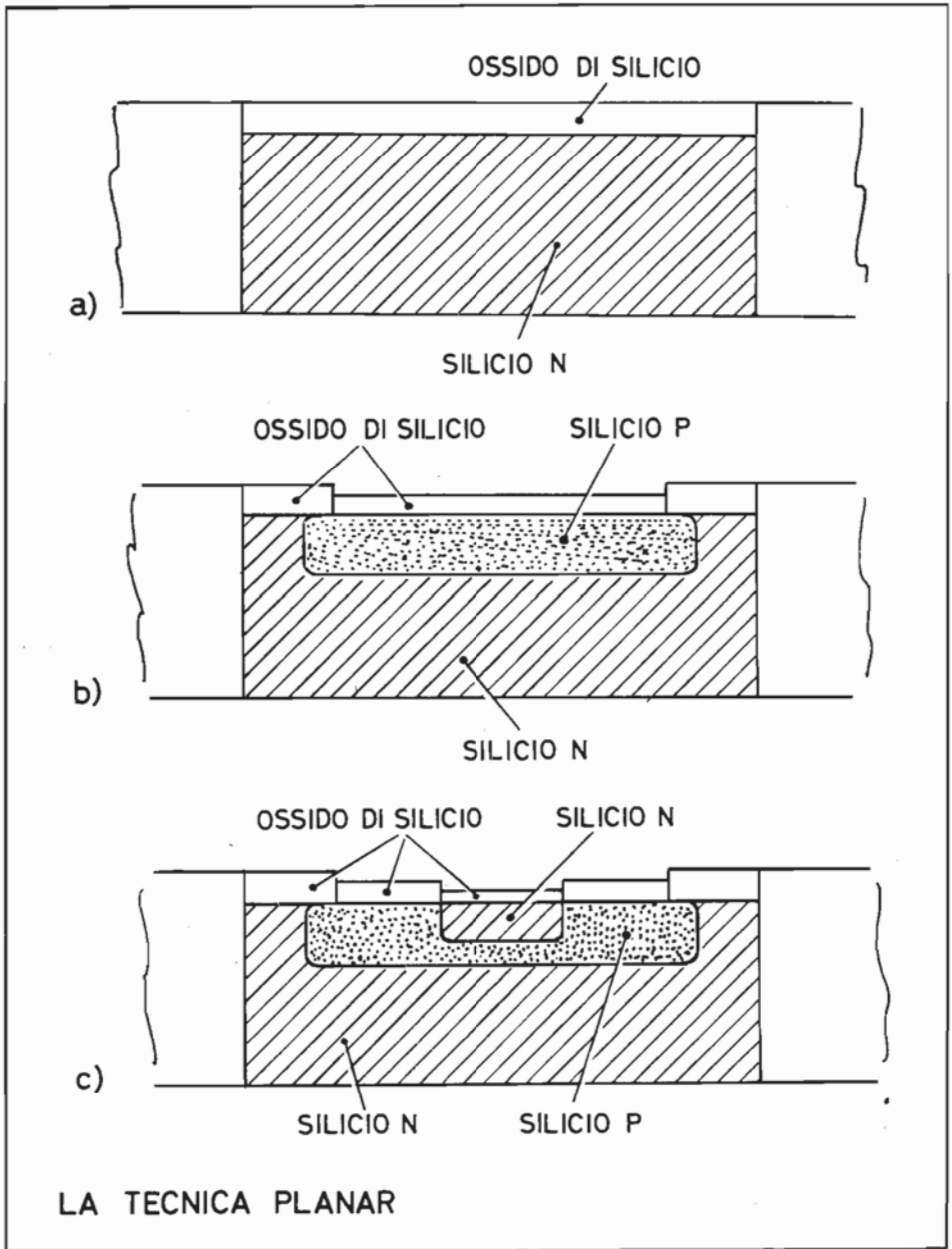


Fig. 7

fabbricare con una pastiglia, ed attraverso ciascuna finestra si forma nel semiconduttore una nuova zona con processo di diffusione. Terminata la diffusione si ossida nuovamente la superficie scoperta delle finestre (fig. 7-b).

Al centro di ciascuna finestra viene asportata nuovamente con attacco chimico parte dell'ossido, aprendo così una nuova finestra, più ristretta della precedente. Attraverso quest'ultima finestra si forma nel semiconduttore, con processo di diffusione, un'altra zona, contenuta nella zona formata in precedenza. Terminata la diffusione si ossida nuovamente tutta la superficie scoperta del semiconduttore (fig. 7-c).

Complessivamente, al termine delle varie operazioni si ottengono tre zone sovrapposte: una costituita dal semiconduttore originario (silicio N inferiore); un'altra costituita con il primo processo di diffusione (silicio P); la terza ed ultima costituita con il secondo processo di diffusione (silicio N superiore).

Le tre zone sovrapposte formano un transistor, la cui struttura fondamentale è riportata nella fig. 8.

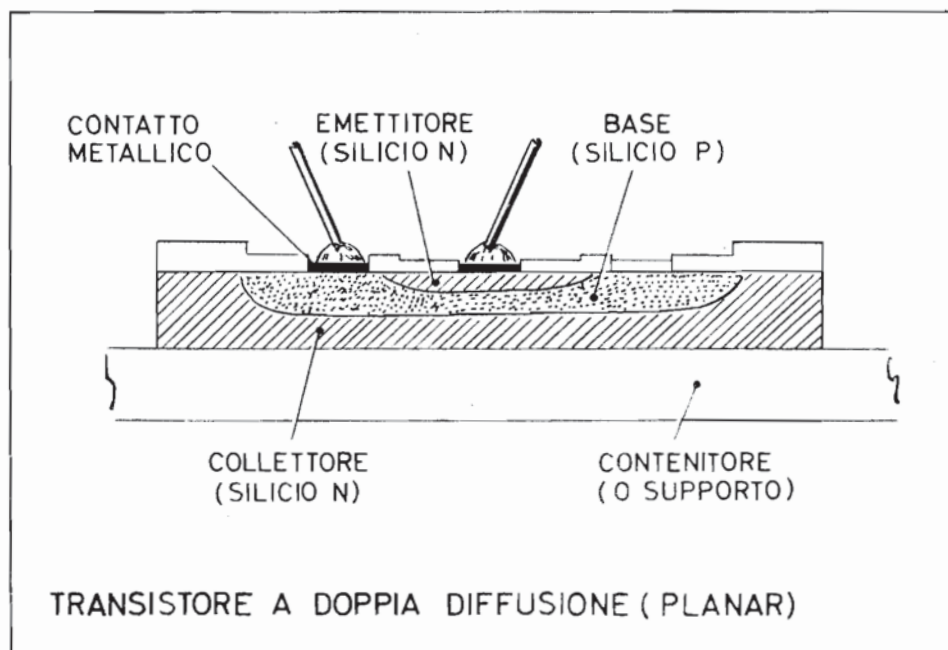


Fig. 8

La tecnica planar è stata adottata per fabbricare transistori a doppia diffusione del tipo mesa ed epitassiale. Essa è vantaggiosa poiché consente di ottenere contemporaneamente numerosi transistori, di ridottissimo spessore (fino ad un decimillimetro), proteggendo il semiconduttore da indebite contaminazioni durante le varie fasi della costruzione.

3. - DATI TECNICI DEI TRANSISTORI

Nella *Transistori 6'* abbiamo visto come sia rappresentato il funzionamento del transistor con le caratteristiche *tensione-corrente* pubblicate dalle case costruttrici. Ora esaminiamo altri dati tecnici, che di solito vengono forniti insieme con i grafici delle caratteristiche.

Si tratta dei valori numerici di alcune grandezze, cioè dei *valori massimi* di tensione, corrente, potenza dissipata e temperatura alle giunzioni, ancora ammissibili durante il normale funzionamento del transistor; inoltre si prendono in considerazione alcuni *dati caratteristici* che servono ad illustrare sommariamente le possibilità di funzionamento del transistor in condizioni tipiche prefissate.

I valori massimi ed i dati caratteristici che esamineremo a titolo d'esempio si trovano raccolti nelle tabelle della *fig. 9*. Essi si riferiscono alla *connessione ad emettitore comune*, essendo questo tipo di connessione quello maggiormente usato nei circuiti dei radoricevitori.

Nella prima colonna a sinistra (tabella della *fig. 9-a*) sono elencate le sigle dei transistori e sotto ciascuna sigla è indicato il tipo a cui appartiene il transistor considerato. Tutti i transistori elencati nella tabella sono del tipo P-N-P.

I valori massimi ammissibili durante il normale funzionamento del transistor, e riportati nella tabella della *fig. 9-a*, sono:

SIGLA E TIPO	VALORI MASSIMI				
	$-V_{CE}$ (V)	$-I_C$ (mA)	P_C (mW)	T_J (°C)	K (°C/mW)
OC44 P-N-P	13	10	65	75	0,6
OC45 P-N-P	13	5	65	75	0,6
OC71 P-N-P	30	50	100	75	0,4
OC72 P-N-P	32	125	100	75	0,4
SFT307 P-N-P	18	100	125	85	0,4
SFT353 P-N-P	24	150	165	85	0,3
2G138 P-N-P	15	200	125	85	0,4
2G108 P-N-P	25	100	125	85	0,4

a)

SIGLA E USO	DATI CARATTERISTICI				
	β	$-V_C$ (V)	$-I_C$ (mA)	$-I_{CEO}$ (μ A)	f_β (kHz)
OC44 RF	100	6	1	25	148
OC45 FI	50	6	1	12	117
OC71 BF	47	2	3	150	9,3
OC72 BF-POTENZA	70	5,4	-	125	12,6
SFT307 FI	30	6	1	-	193
SFT353 BF	80	6	1	400	29
2G138 FI	30	1	20	180	225
2G108 BF	95	1	10	800	26

b)

**DATI TECNICI DI ALCUNI TRANSISTORI
(PER LA CONNESSIONE AD EMETTITORE COMUNE)**

Fig. 9

— V_{CE} , massima tensione fra collettore ed emettitore, espressa in volt (V);

— I_C , massima corrente di collettore, espressa in *milliampere* (mA);

P_C , massima dissipazione di collettore alla temperatura ambientale di 35 °C, espressa in *milliwatt* (mW);

T_j , massima temperatura alla giunzione di collettore, espressa in *gradi centigradi Celsius* (°C).

Oltre ai precedenti quattro valori massimi nella tabella della *fig. 9-a* sono riportati i valori della costante K , che è la RESISTENZA TERMICA fra la giunzione di collettore e l'involucro, espressa in *gradi centigradi Celsius al milliwatt* (°C/mW).

La resistenza termica K esprime di quanti *gradi centigradi Celsius* aumenti la temperatura di giunzione (T_j) per ogni *milliwatt* della dissipazione di collettore (P_C), quando il transistor lavora in aria libera, cioè senza alette od altri dispositivi di raffreddamento.

La resistenza termica K serve per calcolare il valore massimo della dissipazione di collettore (P_C) quando il valore della temperatura ambientale è diverso da quello di 35 °C prescelto per determinare i valori P_C della tabella.

Il calcolo si esegue nel seguente modo: *si sottrae dalla massima temperatura di giunzione la temperatura ambientale e si divide la differenza ottenuta per il valore di K ; il quoziente esprimerà la massima dissipazione di collettore* (tutte le grandezze debbono essere espresse nelle unità di misura indicate nella tabella della *fig. 9-a*).

Si voglia, ad esempio, determinare la massima dissipazione di collettore ammissibile per il transistor 2G108 alla temperatura ambientale di 45 °C.

La differenza fra la massima temperatura di giunzione (85 °C) e la temperatura ambientale (45 °C) è uguale a 40 °C.

Il quoziente della divisione fra la differenza precedente (40 °C) ed il valore K corrispondente al transistor 2G108 (0,4 °C/mW) è uguale a 100 (infatti $40 : 0,4 = 100$); perciò si deve concludere che la massima dissipazione di collettore alla temperatura ambientale di 45 °C è di 100 mW.

Nella prima colonna a sinistra della tabella della *fig. 9-b* sono nuovamente elencate le sigle dei transistori, ma qui, sotto ciascuna sigla, è indicato l'uso a cui è stato destinato il transistoro:

- RF, per circuiti di radiofrequenza;
- FI, per circuiti di frequenza intermedia;
- BF, per preamplificatori di bassa frequenza;
- BF-POTENZA, per amplificatori finali BF di potenza.

Nella tabella della *fig. 9-b* sono riportati i dati caratteristici di maggiore interesse, comuni ai vari tipi di transistori:

β , coefficiente d'amplificazione di corrente per la connessione ad emettitore comune;

— V_C , tensione fra collettore ed emettitore, espressa in *volt* (V);

— I_C , corrente di collettore, espressa in *milliampere* (mA);

— I_{CE0} , corrente residua di collettore per la connessione ad emettitore comune, espressa in *microampere* (μA);

f_β , frequenza di taglio propria del transistoro in connessione ad emettitore comune, espressa in *chilohertz* (kHz).

Il coefficiente d'amplificazione β , la tensione e la corrente di collettore sono grandezze già studiate nella lezione precedente; resta soltanto da precisare che cosa siano la CORRENTE RESIDUA DI COLLETTORE e la FREQUENZA DI TAGLIO.

La corrente residua di collettore è detta anche CORRENTE INVERSA DI SATURAZIONE; essa è la corrente di collettore che si ha quando la corrente di comando relativa al circuito di base è nulla.

Se il transistoro è collegato nella connessione *a base comune*, la corrente residua di collettore viene normalmente indicata con il simbolo $-I_{CB0}$ (o I_{CB0} ; *Transistori 5**); se invece il transistoro è collegato nella connessione *ad emettitore comune* essa viene indicata con il simbolo $-I_{CE0}$ (o I_{CE0}).

Il valore della corrente residua di collettore può essere preso come indice della qualità del transistoro: i transistori destinati allo stesso uso ed aventi lo stesso coefficiente β sono tanto migliori quanto più basso è il valore della corrente residua $-I_{CE0}$.

La frequenza di taglio di f_{β} è la frequenza propria di un transistor in connessione *ad emettitore comune*, alla quale il guadagno del transistor si riduce al 70,7% rispetto al guadagno dello stesso transistor funzionante alla frequenza di 1.000 Hz.

Ad esempio, se un transistor funzionante a 1.000 Hz ha un guadagno di 100, si dirà frequenza di taglio quella per cui il guadagno si riduce a 70,7; analogamente, se a 1.000 Hz il guadagno è di 50, si dirà frequenza di taglio quella per cui il guadagno si riduce a 35,35.

La frequenza di taglio così determinata non rappresenta la massima frequenza di funzionamento del transistor, ma è un dato che può servire di riferimento per valutare la risposta in frequenza del transistor stesso.

Avendo completata la rassegna della fisica e della tecnologia del transistor, nella prossima lezione inizieremo lo studio dei circuiti a transistori.

4. - ESERCITAZIONE PRATICA

Montaggio di un amplificatore ad emettitore comune con stabilizzazione sull'emettitore

Proseguendo le esercitazioni sui circuiti amplificatori con stabilizzazione in corrente continua realizzerà ora sul telaio A un nuovo circuito amplificatore, il cui schema elettrico è riportato nella *fig. 10*.

La stabilizzazione termica del circuito è ottenuta con il resistore R64 da 1,2 k Ω collegato all'emettitore e polarizzando la base mediante il partitore formato dai resistori R65 da 33 k Ω e R120 da 4,7 k Ω .

Un aumento iniziale della corrente di collettore causa un aumento della corrente di emettitore e di conseguenza un aumento della tensione ai capi del resistore R64.

In questo modo la tensione fra base ed emettitore diminuisce, e con essa diminuisce la corrente di base, contrastando in tal modo l'aumento

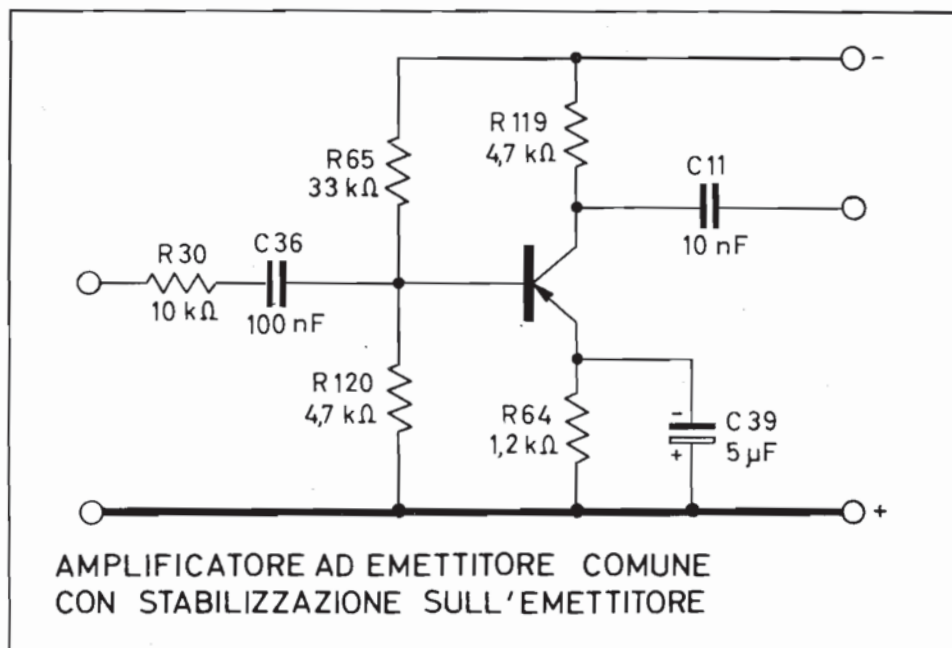


Fig. 10

della corrente di collettore, dato che questa è comandata dalla corrente di base.

Il condensatore C39 ha il compito di eliminare solamente per le correnti alternate l'effetto di controreazione esercitato dal resistore R64; infatti il condensatore si comporta come un cortocircuito per le frequenze alternate, ottenendo quindi una maggiore amplificazione del segnale.

Invece, per la corrente continua del transistor il condensatore C39 non ha alcun effetto, per cui il resistore R64 continua ad agire stabilizzando il punto di lavoro dell'amplificatore.

Il segnale da amplificare viene applicato alla base tramite il resistore R30 da 10 kΩ ed il condensatore C36 da 100 nF.

Il resistore R119 da 4,7 kΩ posto sul collettore del transistor ha, come di consueto, la funzione di carico; ai suoi capi viene a localizzarsi

il segnale amplificato che viene poi prelevato dal condensatore C11 da 10 nF.

Ora può senz'altro accingersi alla realizzazione del nuovo amplificatore.

Come prima operazione deve preparare il telaio A togliendo da esso tutti i collegamenti e componenti che non verranno utilizzati in questa lezione.

Innanzitutto dissaldi il transistor badando di non danneggiarlo. Dissaldi quindi tutti i collegamenti e componenti relativi al circuito dell'amplificatore, disposti fra i capicorda della basetta E, ad eccezione dei seguenti collegamenti:

— filo isolato rosso fra l'occhiello del capocorda CA53 della basetta D e l'occhiello del capocorda CA61 della basetta E;

— filo isolato rosso fra la linguetta del capocorda CA56 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa E;

— filo di rame stagnato nudo fra la linguetta del capocorda CA57 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa D.

Il circuito dell'alimentatore, montato fra i capicorda della basetta D, non deve essere smontato, in quanto serve per alimentare il nuovo circuito.

Smonti infine dal telaio A la basetta C a cinque capicorda.

Al termine delle operazioni di preparazione il telaio deve presentarsi come si vede nella *fig. 11*.

Mediante una vite da 3×6 mm ed un dado da 3 MA fissi la basetta C a cinque capicorda nell'interno del telaio, nel foro indicato nella *fig. 11*. Il lato interno della basetta deve essere rivolto verso il bordo del telaio, come risulta dalla *fig. 12*.

Può ora iniziare il montaggio dello stadio amplificatore attenendosi alle istruzioni qui di seguito riportate e facendo riferimento alla *fig. 13*.

a) Dissaldi il filo isolato rosso dall'occhiello del capocorda CA61 della basetta E e ne riduca la lunghezza di circa 2 cm.

b) Saldi l'estremo del filo isolato rosso ora ridotto sulla linguetta del capocorda CA58 della basetta E.

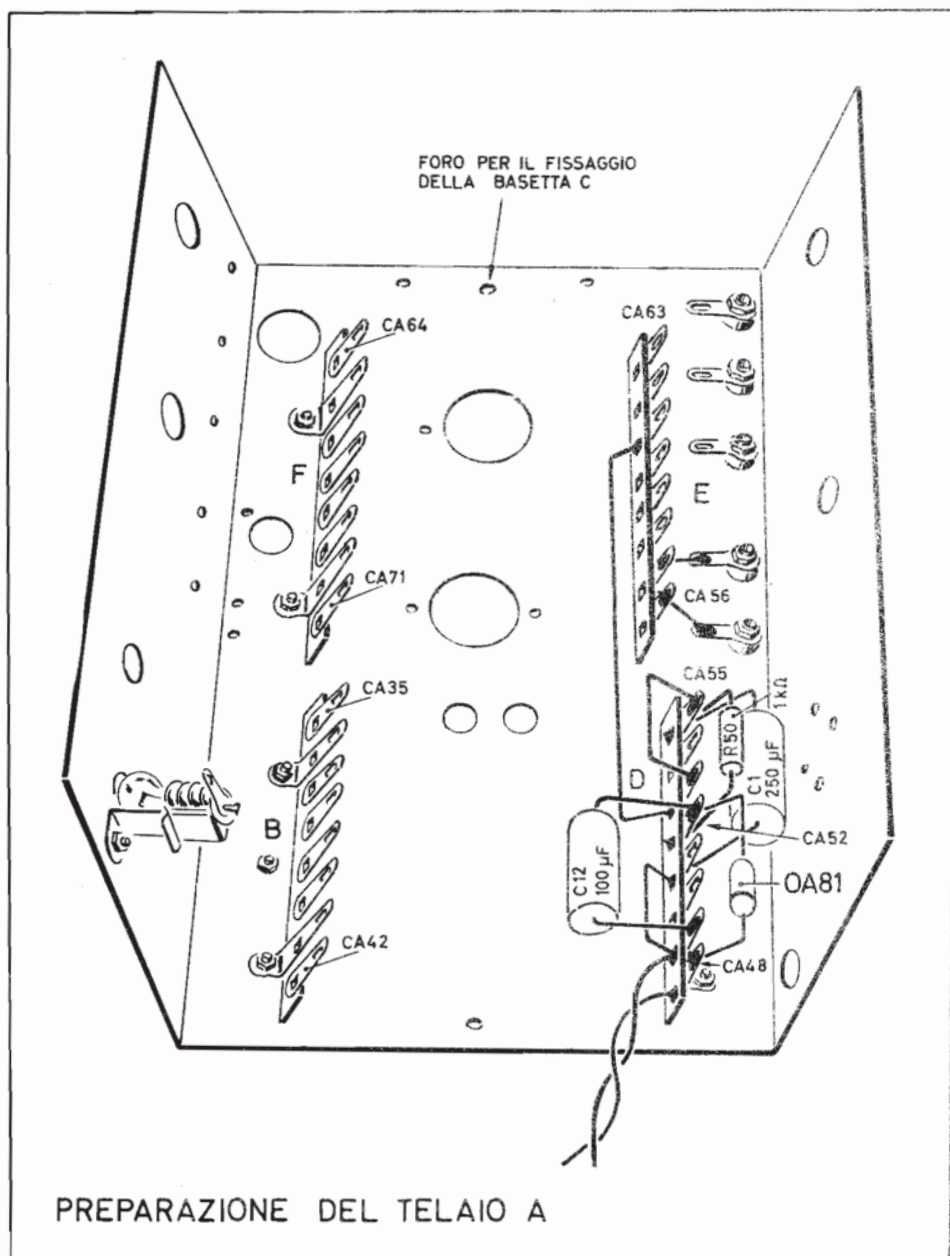


Fig. 11

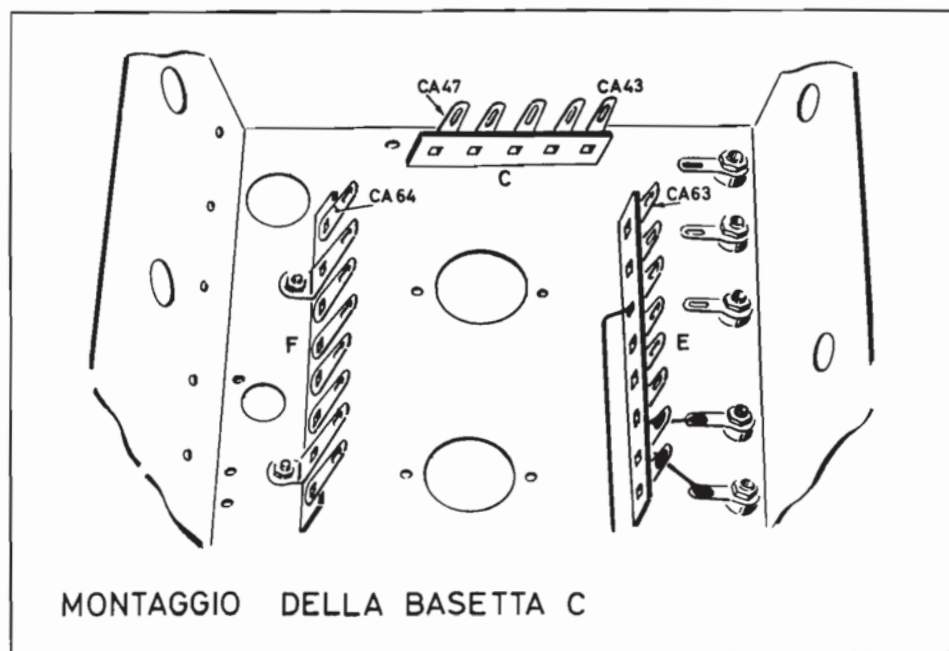


Fig. 12

c) Riduca di circa 2,5 cm ciascun terminale del resistore ad impasto R119 da 4,7 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (giallo - violetto - rosso, argento); disponga il resistore fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA59, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA59.

d) Disponga il resistore ad impasto R65 da 33 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (arancio - arancio - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA60, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA58, bloccando così anche il terminale del resistore R119 precedentemente disposto.

e) Riduca di circa 2 cm per parte i terminali del resistore ad impasto R120 da 4,7 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (giallo - violetto - rosso, argento); disponga il resistore fra gli occhielli dei capicorda CA62 e CA60, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA62.

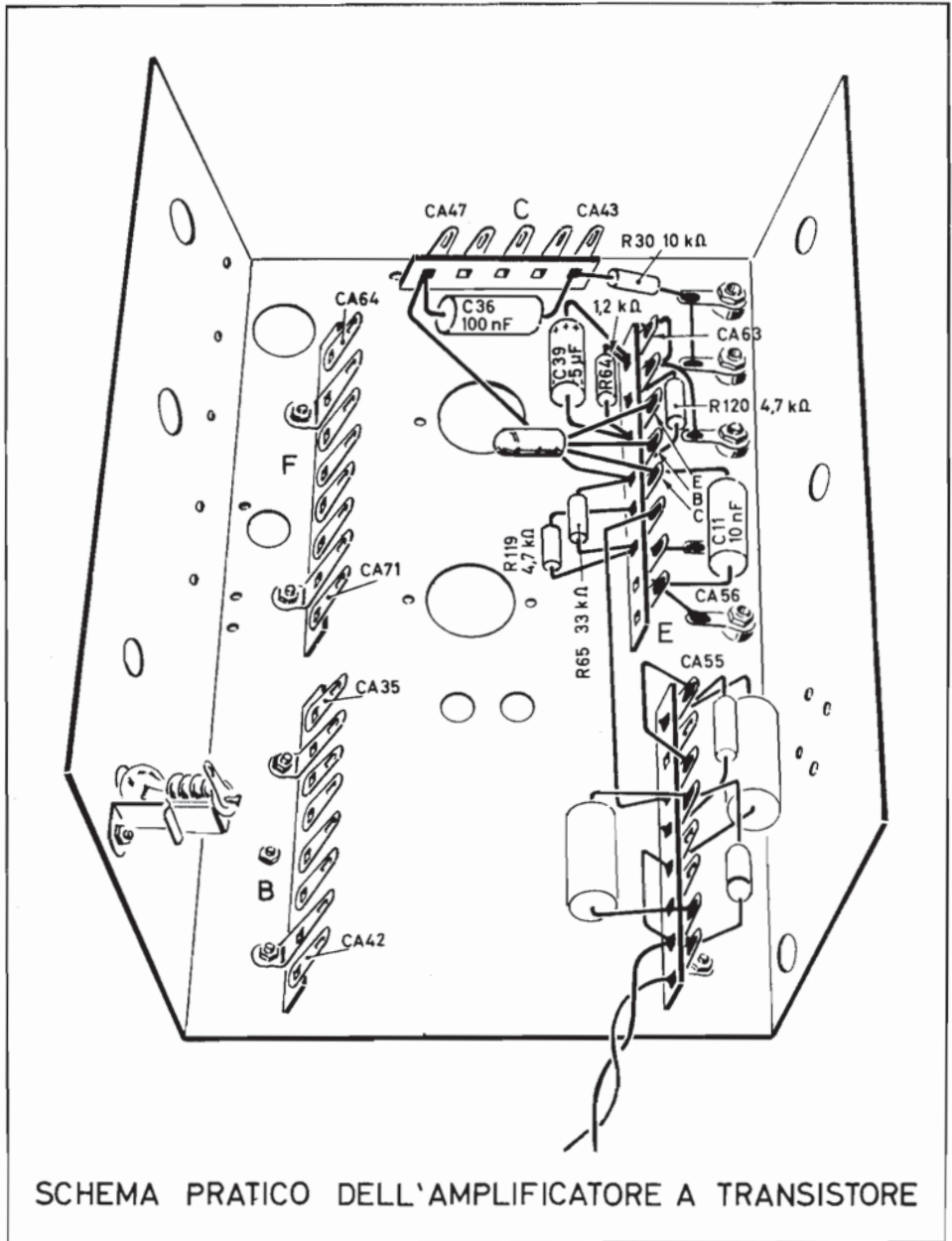


Fig. 13

f) Disponga il condensatore elettrolitico C39 da $5 \mu\text{F}$ - 50 V fra gli occhielli dei capicorda CA61 e CA63, dal lato esterno della basetta E, con il lato positivo rivolto verso il CA63; per ora non esegua alcuna saldatura.

g) Disponga il resistore ad impasto R64 da $1,2 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (marrone - rosso - rosso, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA61 e CA63, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche i terminali del condensatore C39 precedentemente disposto.

h) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2 cm e lo pieghi ad angolo retto ad una distanza di 4 mm - 5 mm da ciascun estremo, realizzando un ponticello.

i) Introduca gli estremi del ponticello nelle linguette dei capicorda CA63 e CA62, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA63.

l) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 2 cm e lo disponga fra la linguetta del capocorda CA62 della basetta E ed il capocorda della boccola nera C; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il filo di rame stagnato nudo disposto in precedenza nella linguetta del capocorda CA62.

m) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il capocorda della boccola verde A ed il capocorda della boccola gialla B; esegua la saldatura solamente sul capocorda della boccola gialla.

n) Disponga il resistore ad impasto R30 da $10 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento) fra l'occhiello del capocorda CA43 della basetta C ed il capocorda della boccola verde A; esegua la saldatura solamente sulla boccola, bloccando così anche il filo isolato giallo disposto in precedenza.

o) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 8 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA47 della basetta C e l'occhiello del capocorda CA60 della basetta E; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA60, bloccando così anche i terminali dei resistori R65 e R120 disposti in precedenza su tale capocorda.

p) Disponga il condensatore a carta C36 da 100 nF - 630 V, toll. 20% tra gli occhielli dei capicorda CA43 e CA47, dal lato esterno della basetta C; esegua la saldatura su entrambi i capicorda, bloccando così anche il terminale del resistore R30 disposto in precedenza sul capocorda CA43 ed il filo isolato giallo disposto sul capocorda CA47.

q) Disponga il condensatore a carta C11 da 10 nF - 630 V, toll. 20% fra le linguette dei capicorda CA56 e CA59, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA56.

Per completare il montaggio non Le rimane che collegare il transistor; però prima di eseguire questa operazione è opportuno effettuare il controllo a freddo del circuito finora realizzato, per accertarsi che tutto sia regolare.

Nella tabella della *fig. 14* sono indicati i punti del circuito ai quali si deve collegare l'ohmmetro ed i relativi valori della resistenza che deve essere misurata.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DELL'OHMMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V E DA 1.000 Ω/V
1	Fra massa e CA58	R x 1.000	25 kΩ ± 40 kΩ
2	Fra massa e CA59	R x 1.000	30 kΩ ± 45 kΩ
3	Fra massa e CA60	R x 1.000	4.000 Ω ± 5.500 Ω
4	Fra massa e CA61	R x 10	1.000 Ω ± 1.400 Ω
5	Fra CA59 e CA52	R x 1.000	5.000 Ω ± 6.500 Ω
6	Fra CA60 e CA52	R x 1.000	27 kΩ ± 37 kΩ
7	Fra CA61 e CA52	R x 1.000	30 kΩ ± 45 kΩ
8	Fra CA43 e bocco- la verde	R x 1.000	8,5 kΩ ± 11,5 kΩ
CONTROLLO A FREDDO DELL'AMPLIFICATORE			

Fig. 14

Se misura valori eccessivamente diversi da quelli indicati, la causa può risiedere nell'alterazione di qualche componente; in questo caso consulti la tabella della *fig. 15*, che Le sarà d'aiuto per l'individuazione del componente avariato.

Concluso con esito positivo il controllo a freddo può saldare il transistor sul lato esterno della basetta E.

r) Saldi il terminale di emettitore (E) sulla linguetta del capocorda CA61 ed il terminale di base (B) sulla linguetta del capocorda CA60; saldi infine il terminale di collettore (C) sulla linguetta del capocorda CA59, bloccando in tal modo anche il terminale del condensatore C11 disposto in precedenza su tale capocorda.

Il montaggio dell'amplificatore è così terminato; può quindi eseguire il controllo sotto tensione.

Per effettuare questo controllo deve collegare l'alimentatore del telaio A all'avvolgimento secondario a 6,3 V del trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore, come ha già fatto nella precedente lezione.

Disponga quindi il ricevitore vicino al telaio A.

Saldi il filo trecciola verde proveniente dal capocorda CA48 del telaio A sull'ancoraggio A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore.

Saldi il filo trecciola nero proveniente dal capocorda CA49 del telaio A sull'ancoraggio A4 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore.

Il controllo sotto tensione ha inizio, come al solito, con la misura della tensione all'uscita del diodo.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V f.s.; colleghi il puntale nero al capocorda CA52 della basetta D ed il puntale rosso ad un punto qualsiasi del telaio. Dia tensione al trasformatore di alimentazione del ricevitore: il voltmetro dovrà segnare subito una tensione compresa fra 6 V e 9 V.

Se invece lo strumento non indica alcun valore di tensione verifichi in primo luogo che fra massa ed il capocorda CA48 della basetta D vi sia la tensione alternata da raddrizzare di valore compreso fra 5 V e 7 V.

PUNTI TRA I QUALI SI E' MISURATO IL VALORE IRREGOLARE DI RESISTENZA	CAUSA PROBABILE
Tra massa e CA58	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C1 da 250 μF in cortocircuito - Condensatore C12 da 100 μF in cortocircuito - Resistore R120 da 4,7 kΩ interrotto o alterato - Resistore R65 da 33 kΩ interrotto o alterato
Tra massa e CA60	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R120 da 4,7 kΩ alterato
Tra massa e CA61	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R64 da 1,2 kΩ alterato - Condensatore C39 da 5 μF in cortocircuito
Tra CA59 e CA52	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R119 da 4,7 kΩ alterato - Resistore R50 da 1 kΩ alterato
Tra CA47 e boccia verde	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R30 da 10 kΩ alterato
<p>CONSULENZA SULLE IRREGOLARITA' NEL CONTROLLO A FREDDO DELL'AMPLIFICATORE</p>	

Fig. 15

Ottenuto esito positivo da questa misura si accerti che i condensatori elettrolitici di filtro C1 da 250 μ F e C12 da 100 μ F non siano in cortocircuito e che il diodo OA81 non sia avariato.

Non riscontrando irregolarità dalla misura della tensione fornita dall'alimentatore prosegua il controllo sotto tensione collegando il voltmetro fra i punti indicati nella tabella della *fig. 16*.

Ultimato, con risultati positivi, il controllo sotto tensione, disinserisca dalla rete il trasformatore di alimentazione.

Può ora procedere al controllo funzionale.

Questo controllo consiste nell'applicare all'ingresso dell'amplificatore a transistore il segnale BF dell'oscillatore modulato, tramite il potenziometro del provacircuiti a sostituzione, e nell'inviare il segnale amplificato all'amplificatore BF del ricevitore affinché sia riprodotto dal suo altoparlante.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DEL VOLTMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω /V	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 1.000 Ω /V
1	Fra CA58 (-) e massa (+)	10 V CC	-5,3 V CC \pm -7,8 V CC	-5 V CC \pm -7,2 V CC
2	Fra CA59 (-) e massa (+)	10 V CC	-3 V CC \pm -5 V CC	-2,5 V CC \pm -3,4 V CC
3	Fra CA60 (-) e massa (+)	3 V CC	-0,5 V CC \pm -0,9 V CC	-0,4 V CC \pm -0,6 V CC
4	Fra CA61 (-) e massa (+)	3 V CC	-0,45 V CC \pm -0,85 V CC	-0,4 V CC \pm -0,65 V CC
CONTROLLO SOTTO TENSIONE DELL'AMPLIFICATORE A TRANSISTORE				

Fig. 16

Per collegare fra loro i due amplificatori impiegherà ancora il cavetto schermato munito ad un estremo di due banane, utilizzato nell'esercitazione della precedente lezione.

Saldi quindi il conduttore interno del cavetto schermato sulla linguetta F del potenziometro P3 e la calza schermante sulla linguetta I.

Disponga ora sul tavolo da lavoro, vicino al telaio A, il provacircuiti a sostituzione e l'oscillatore modulato.

Innesti la banana rossa del cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato nella boccola gialla H del provacircuiti a sostituzione e la banana nera nella boccola rossa G dello stesso provacircuiti.

Innesti la banana rossa del cavetto schermato proveniente dal potenziometro del ricevitore nella boccola rossa E del telaio A, e la banana nera nella boccola rossa D.

Innesti la banana di un connettore nero nella boccola rossa B del provacircuiti a sostituzione e serri, con il coccodrillo posto all'estremità opposta del connettore, il telaio A in un punto qualsiasi.

Prenda, ora, lo spezzone di filo trecciola munito alle estremità di banane realizzato nelle precedenti lezioni pratiche.

Innesti la banana posta ad un'estremità dello spezzone nella boccola verde A del telaio A e la banana posta all'altra estremità dello spezzone nella boccola verde C del provacircuiti.

Disponga i comandi dell'oscillatore modulato nelle seguenti posizioni:

- commutatore di gamma sulla posizione BF;
- interruttore di modulazione sulla posizione MOD. INT.;
- manopola dell'attenuatore sulla posizione 1 della scala graduata.

Disponga i comandi del provacircuiti a sostituzione nelle seguenti posizioni:

- commutatore S2 sulla posizione P;
- interruttore sulla posizione S;
- potenziometro sulla posizione 5 della prima scala graduata interna;

— il commutatore S1 può essere disposto su qualsiasi posizione.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione BF con la portata di 100 V CA f.s.

Innesti la punta metallica del puntale nero nel manicotto di un coccodrillo nero e la punta metallica del puntale rosso nel manicotto di un coccodrillo rosso.

Serri con il coccodrillo del puntale nero il telaio del ricevitore in un punto qualsiasi e con il coccodrillo del puntale rosso serri il cilindretto d'ancoraggio A13 del circuito stampato dell'amplificatore BF, corrispondente all'anodo del tubo finale di potenza.

I collegamenti eseguiti sono illustrati nella *fig. 17*.

Accenda il ricevitore e l'oscillatore modulato.

Ruota il potenziometro di volume del ricevitore sino a che l'indice dell'analizzatore indichi una certa tensione, ad esempio 25 V CA; contemporaneamente deve udire dall'altoparlante la nota acustica dell'oscillatore.

In queste condizioni il segnale emesso dall'oscillatore modulato risulta amplificato dall'amplificatore a transistor prima di essere applicato all'ingresso dell'amplificatore a tubi.

Ruotando verso destra la manopola del potenziometro del provacircuito aumenta il segnale all'ingresso dell'amplificatore a transistor e di conseguenza anche l'ampiezza del segnale all'uscita dell'amplificatore a tubi: precisamente, quando il potenziometro del provacircuito è ruotato completamente a destra la tensione d'uscita è compresa fra 45 V e 75 V.

Ruotando invece verso sinistra il potenziometro si annulla il segnale applicato all'ingresso dell'amplificatore a tubi.

Dopo questo controllo porti nuovamente la manopola del potenziometro del provacircuito a sostituzione sulla posizione 5 della scala graduata interna.

Per avere la conferma che il segnale emesso dall'oscillatore è stato effettivamente amplificato dall'amplificatore a transistor prima di essere applicato all'ingresso dell'amplificatore a tubi può sfilare la banana rossa

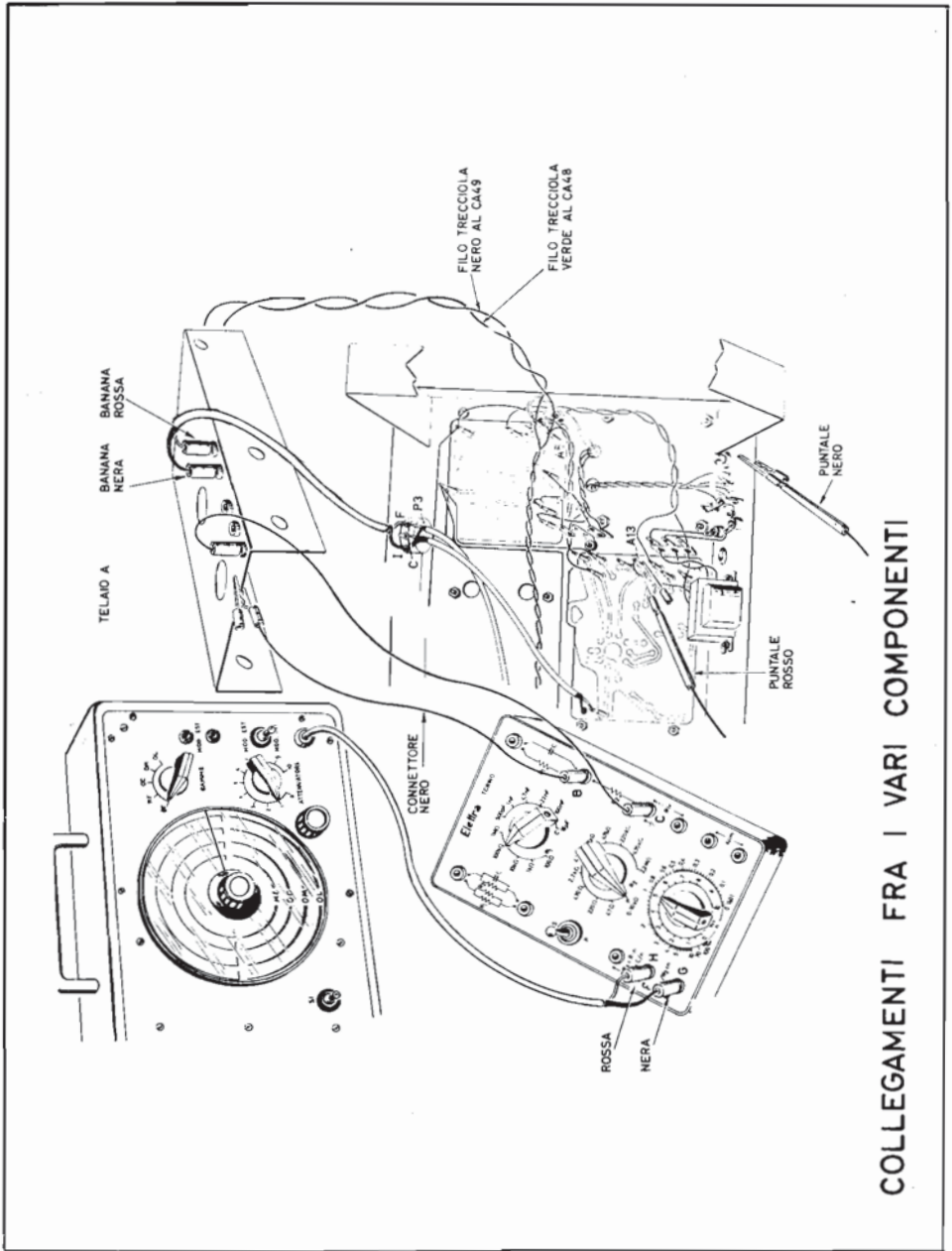


Fig. 17

del cavetto schermato dalla relativa boccia rossa E del telaio A e la banana nera dalla boccia rossa D.

Infilare la banana rossa del cavetto schermato nella boccia gialla B del telaio A ed innestare la banana nera nella boccia nera C; in queste condizioni, essendo escluso il transistor (lasciando inalterate le posizioni dei potenziometri dell'attenuatore dell'oscillatore, del provacircuito a sostituzione ed infine la posizione del potenziometro dell'amplificatore a tubi), noterà che la nota emessa dall'altoparlante risulterà alquanto più tenue.

Innestare nuovamente le due banane del cavetto schermato nelle due bocchie rosse (banana rossa nella boccia E, banana nera nella boccia D) del telaio A.

Può ora verificare l'azione del condensatore di emettitore C39 dissaldandone dal circuito un terminale: in tal modo l'amplificatore risulterà controreazionato anche per la corrente alternata e di conseguenza l'amplificazione fornita risulterà pressoché nulla; in tal modo si attenuerà fortemente il segnale emesso dall'altoparlante.

Spegna il ricevitore; il relativo potenziometro di volume non deve essere ruotato dalla sua posizione.

Dissaldi dall'occhiello del capocorda CA61 il terminale del condensatore elettrolitico C39 da 5 μ F.

Accenda nuovamente il ricevitore: come potrà constatare, anche con il potenziometro del provacircuito completamente ruotato a destra la nota emessa dall'altoparlante è molto debole e l'indice dell'analizzatore si sposta solamente di alcune divisioni dall'inizio scala.

Terminata così l'esercitazione, spenga il ricevitore e l'oscillatore modulato; stacchi i collegamenti fra i vari apparecchi. Dissaldi infine dagli ancoraggi A4 ed A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul ricevitore i fili trecciola verde e nero provenienti dal telaio A; dissaldi infine dal potenziometro P3 lo spezzone di cavetto schermato munito all'estremità opposta di banane.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 7^a

1. - I transistori a giunzioni di lega sono particolarmente adatti per i circuiti RF?
 2. - Da che cosa dipende la risposta di un transistore alle alte frequenze? *
 3. - Che cosa è il gradiente d'impurità?
 4. - Che cosa è l'effetto drift?
 5. - Che cosa è la frequenza di taglio f_{β} ?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 6*

1. - Il quadripolo è un dispositivo che assorbe potenza fra due terminali d'entrata e fornisce potenza fra due terminali d'uscita. Il transistor può essere considerato un quadripolo avente un terminale in comune fra i circuiti d'entrata e d'uscita.
 2. - Si hanno tre circuiti fondamentali con transistor: l'amplificatore ad emettitore comune, l'amplificatore a base comune e l'amplificatore a collettore comune.
 3. - Il coefficiente di amplificazione β (beta) è il numero che si ottiene dividendo una variazione della corrente di collettore (a tensione di collettore costante) per la corrispondente variazione della corrente di base, essendo entrambe le variazioni riferite ad un transistor collegato in connessione ad emettitore comune.
 4. - Le caratteristiche d'uscita del transistor sono le curve che rappresentano l'andamento della corrente e della tensione d'uscita per un determinato valore della corrente d'entrata. Nell'amplificatore ad emettitore comune si dicono caratteristiche d'uscita le curve che rappresentano l'andamento della corrente di collettore ($-I_C$) e della tensione di collettore ($-V_{CE}$) per determinati valori della corrente di base ($-I_B$).
 5. - La stabilizzazione in corrente continua dell'amplificatore ad emettitore comune ha lo scopo di assicurare l'intercambiabilità dei transistori dello stesso tipo e di attenuare il processo di reazione termica, impedendo eccessivi aumenti della temperatura interna del transistor durante il funzionamento.
-

(44)

Le applicazioni dei transistori si estendono a tutti i campi dell'elettronica, ma in queste lezioni noi ci occuperemo soltanto degli amplificatori BF, dei radioricevitori MA e dei convertitori da CC a CA.

Passeremo in rassegna i vari circuiti notando gli aspetti fondamentali che possono servire ad illustrare l'impiego dei transistori in radiotecnica.

1. - AMPLIFICATORI PER CORRENTI ALTERNATE

Si è già visto che è possibile collegare il transistoro in tre modi diversi, ottenendo tre diversi circuiti fondamentali, cioè gli amplificatori *ad emettitore comune*, *a base comune* ed *a collettore comune*.

In radiotecnica, particolarmente negli amplificatori BF e nei radioricevitori MA, si usano quasi sempre amplificatori ad emettitore comune, perciò ci limiteremo ad esaminare i circuiti di questo tipo.

Proseguendo, si potrebbero ora classificare gli amplificatori a transistori in vari modi, ma conviene mantenersi su un punto di vista pratico e distinguerli in base al segnale da amplificare. Così facendo si definiscono in primo luogo le due seguenti categorie di amplificatori:

- AMPLIFICATORI PER CORRENTI CONTINUE, usati in apparecchiature industriali o speciali;
- AMPLIFICATORI PER CORRENTI ALTERNATE, usati nei radioricevitori e negli amplificatori BF.

Non ci occuperemo degli amplificatori per correnti continue, perché presentano scarso interesse per il radiotecnico.

Gli amplificatori per correnti alternate a loro volta si possono suddividere nei quattro tipi seguenti:

- PREAMPLIFICATORI PER BF;
- AMPLIFICATORI FINALI PER BF;
- AMPLIFICATORI PER FI;
- AMPLIFICATORI PER RF.

Studieremo i primi due tipi di amplificatori in questa stessa lezione, che sarà dedicata in generale agli amplificatori BF; gli altri due tipi saranno esaminati nella prossima lezione e con essi si vedranno anche gli OSCILLATORI ed i MESCOLATORI in uso nei radioricevitori a conversione di frequenza.

1.1 - Preamplificatori per BF

Ogni stadio amplificatore è caratterizzato da un certo GUADAGNO, che dipende dal coefficiente d'amplificazione e dal punto di funzionamento del tubo elettronico o del transistor.

Il guadagno dello stadio è rappresentato dal numero che si ottiene dividendo l'ampiezza del segnale d'uscita per l'ampiezza del segnale d'entrata.

Trattandosi di amplificatori a transistori occorre distinguere tre forme di guadagno:

- il GUADAGNO DI CORRENTE, che si ottiene dividendo la componente alternata della corrente d'uscita per la componente alternata della corrente d'entrata;
- il GUADAGNO DI TENSIONE, che si ottiene come il precedente, cioè dividendo la componente alternata della tensione d'uscita per la componente alternata della tensione d'entrata;
- il GUADAGNO DI POTENZA, che si ottiene dividendo la potenza d'uscita per quella d'entrata, oppure anche moltiplicando il guadagno di corrente per quello di tensione.

Negli amplificatori a transistori, a differenza di quelli a valvole, si ha sempre un guadagno di corrente, di tensione e di potenza.

Per un dato punto di funzionamento del transistor il valore di ciascun guadagno può essere maggiore o minore a seconda del carico, che nella *fig. 1* è rappresentato dalla resistenza R_C . Se, mantenendo fisso il punto di funzionamento, viene aumentato il carico, diminuisce di conseguenza il guadagno di corrente ed aumenta il guadagno di tensione.

Se viceversa viene diminuito il carico, aumenta il guadagno di corrente e diminuisce quello di tensione.

Considerando quest'ultimo caso si può immaginare di ridurre a zero il valore del carico; si tratta evidentemente di una condizione che non presenta alcun interesse pratico, ma soltanto un certo interesse teorico. Orbene, quando il carico si annulla il guadagno di corrente diventa massimo e, trattandosi di un amplificatore ad emettitore comune, coincide con il *coefficiente d'amplificazione* β del transistor (*Transistori 6°*).

Potremmo anche domandarci che cosa accada quando la resistenza di carico R_C diventasse molto grande, infinitamente grande, pur non essendo interrotta (anche questo è un caso teorico, che non presenta alcun interesse pratico). In queste condizioni il guadagno di tensione aumenterebbe con l'aumentare del carico, fino ad assumere il suo valore massimo quando il carico fosse infinitamente grande; ma nello stesso tempo per mantenere fisso il punto di lavoro occorrerebbe aumentare infinitamente la resistenza di base R_B e la tensione d'alimentazione ($-V_b$), condizione quest'ultima praticamente irrealizzabile.

Nei due casi considerati il rapporto fra la potenza d'uscita e la potenza d'entrata dello stadio si riduce a zero. Esiste però un terzo caso interessante in cui il guadagno di potenza raggiunge il suo valore massimo, mentre i guadagni di corrente e di tensione assumono valori inferiori ai rispettivi valori massimi; queste condizioni si producono quando la R_C ha un certo valore, detto CARICO OTTIMO.

Il carico ottimo dipende dal punto di funzionamento del transistor e normalmente viene indicato fra i dati tipici di funzionamento del transistor stesso.

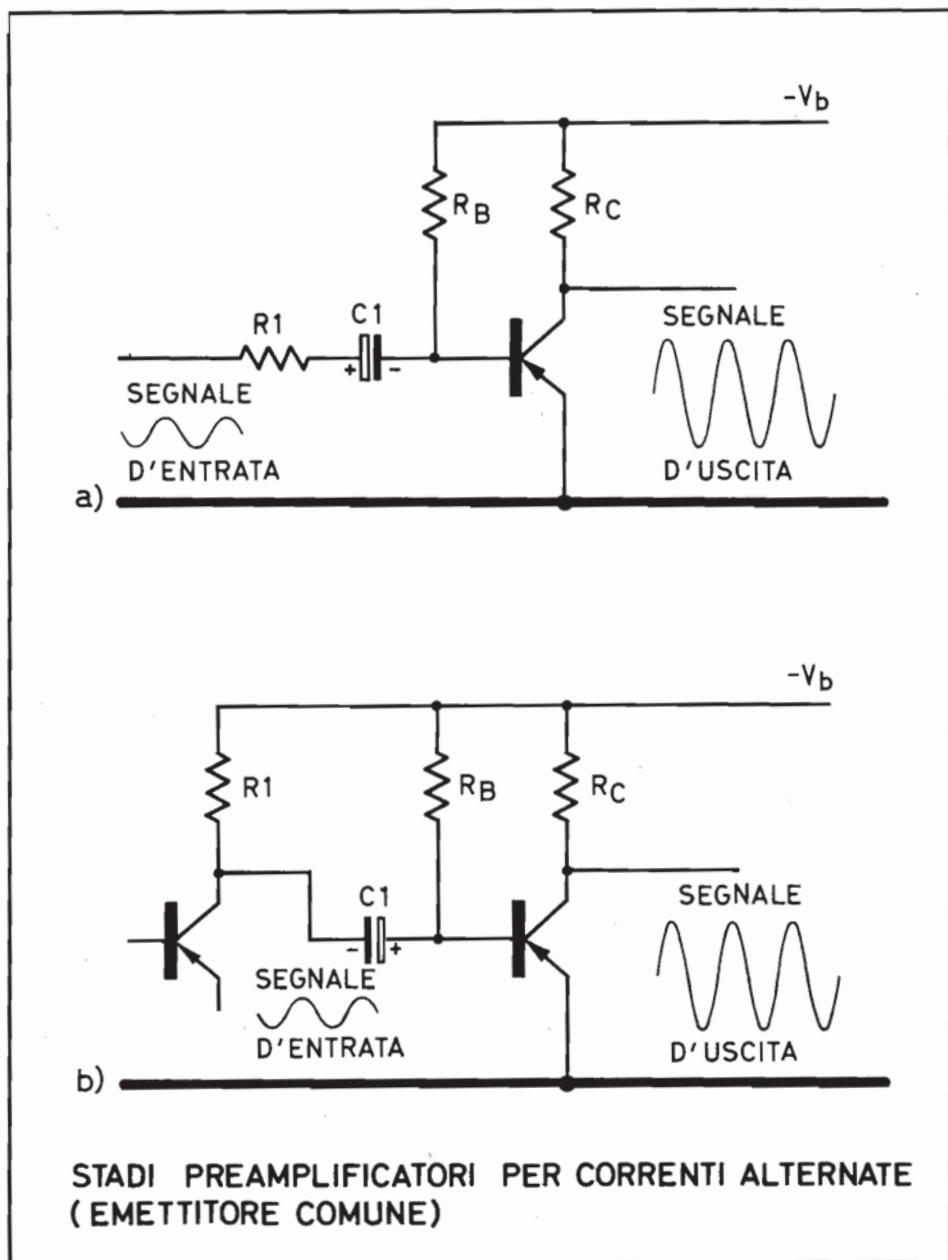


Fig. 1

Esaminiamo i due circuiti della *fig. 1*. Il resistore R1 presente nel circuito della *fig. 1-a* serve semplicemente a limitare la corrente di comando del transistor, evitando così di portare il transistor stesso alla saturazione. Il condensatore C1 costituisce invece la via di passaggio delle correnti alternate provenienti dal generatore di segnali e nello stesso tempo impedisce che il circuito dello stesso generatore possa alterare il sistema di polarizzazione del circuito di base.

Nella *fig. 1-b* è stato riprodotto lo schema dello stesso preamplificatore della *fig. 1-a* con alcune modifiche marginali. Anche il nuovo circuito comprende un resistore R1 ed un condensatore C1; ma in questo caso R1 rappresenta la resistenza di carico di un precedente stadio amplificatore, cioè la resistenza che nel proprio stadio svolge la stessa funzione della R_c ; il condensatore C1 serve di passaggio al segnale e nello stesso tempo evita che la tensione continua di collettore dello stadio precedente sia applicata al circuito di base dello stadio successivo. Nell'insieme il gruppo R1 C1 costituisce un sistema d'accoppiamento a resistenza e capacità simile a quello dei tubi elettronici (*Teorica 22'*).

A parte la diversità delle funzioni svolte dal resistore R1, i due circuiti della *fig. 1* sono uguali. Essi vengono usati per amplificare i deboli segnali BF che si hanno all'uscita del rivelatore, del pick-up (fonorilevatore) o del microfono, e sono destinati a fornire le potenze richieste per il comando degli stadi finali; perciò, data la funzione svolta, essi sono indicati genericamente con il nome di *preamplificatore* usato nella classificazione generale degli amplificatori per segnali alternati.

I preamplificatori della *fig. 1* possono funzionare normalmente soltanto quando la tensione di collettore è uguale od inferiore alla metà della tensione di alimentazione ($-V_b$); in caso diverso, come si è visto nella *Transistori 6'*, bisognerà provvedere alla stabilizzazione in corrente continua con opportune modifiche circuitali.

Nella *fig. 2* sono riportati gli schemi di due preamplificatori stabilizzati in corrente continua.

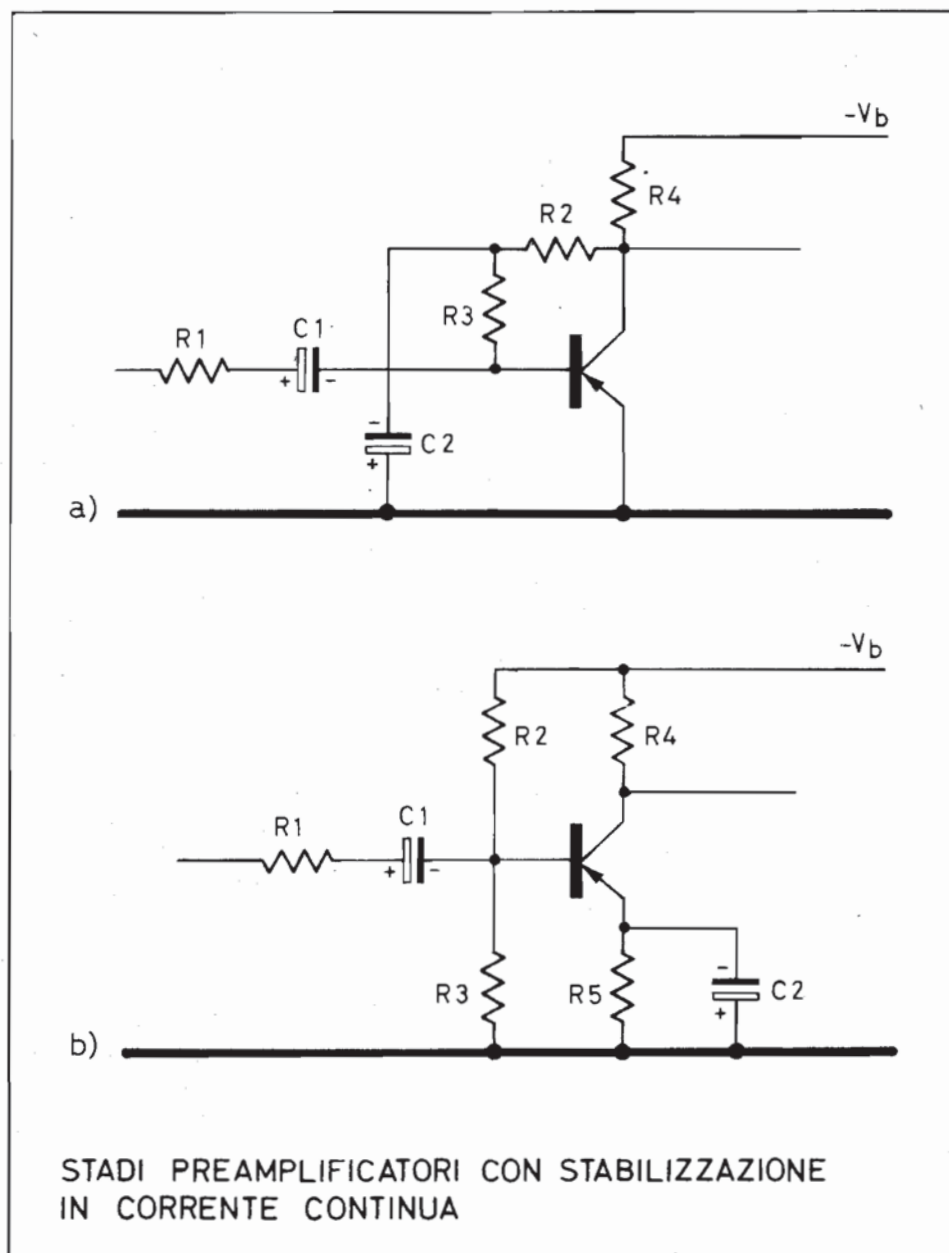


Fig. 2

Confrontando questi schemi con quelli relativi ai circuiti stabilizzati della *Transistori 6°*, si notano due semplici variazioni. In primo luogo il circuito di stabilizzazione adottato nella *fig. 2-a* risulta costituito da due resistori (R_2 e R_3) e da un condensatore (C_2) al posto del solo resistore collegato fra collettore e base (*Transistori 6°*, *fig. 10-b*); inoltre, nell'altro circuito di stabilizzazione adottato nella *fig. 2-b* si trova tra emettitore e massa un condensatore (C_2) che prima non esisteva (*Transistori 6°*, *fig. 11*).

Le modifiche ai due circuiti hanno lo scopo di annullare l'effetto di controreazione per le correnti alternate del segnale, lasciando inalterate le controreazioni in corrente continua e le relative stabilizzazioni. L'attenuazione della controreazione in corrente alternata è dovuta nell'uno e nell'altro caso alla presenza del condensatore C_2 . Nel circuito della *fig. 2-a* il condensatore C_2 conduce a massa la corrente alternata di reazione, pur escludendo il passaggio diretto verso massa della corrente continua. In tal modo la corrente continua viene convogliata attraverso R_3 nel circuito di base ed esercita la sua azione stabilizzatrice, mentre la corrente alternata deviata dal circuito di base non produce effetti di controreazione sul segnale.

Il condensatore C_2 introdotto nel circuito della *fig. 2-b* funziona come il condensatore catodico dei tubi elettronici, e consente di ottenere un effetto analogo al precedente.

In genere i preamplificatori considerati finora possono fornire potenze d'uscita alquanto basse (qualche milliwatt), tutt'al più sufficienti per comandare l'auricolare di un otophone (amplificatore per deboli d'udito) o lo stadio finale che precede l'altoparlante.

1.2 - Amplificatori finali per BF

Per comandare un altoparlante occorrono potenze d'uscita che vanno da qualche decimo di watt a qualche decina di watt, a seconda dei casi; quindi non bastano le potenze fornite dai preamplificatori e bisogna ricorrere all'impiego di appositi stadi finali, facendo uso di transistori adatti.

Lo stadio finale, o STADIO DI POTENZA, non differisce sotto l'aspetto del funzionamento dagli stadi preamplificatori, quando si usi un solo

transistore (fig. 3-a); se però al fine di aumentare la potenza d'uscita, o per ridurre la distorsione, o per migliorare il rendimento, si usano due transistori *in controfase* (fig. 3-b), il circuito dello stadio finale ed il relativo funzionamento differiscono notevolmente dal circuito e dal funzionamento degli stadi precedenti.

Il circuito della fig. 3-a è un normale stadio ad emettitore comune, con stabilizzazione in corrente continua, simile a quello della fig. 2-b.

Confrontando questi due circuiti si può osservare una sola differenza: mentre nel preamplificatore il carico è costituito dal resistore R4, nello stadio finale il carico è costituito dall'insieme formato dall'*altoparlante* e dal *trasformatore d'uscita* (TU). La resistenza R1 ha lo scopo di ridurre la distorsione del segnale, ma spesso nei circuiti pratici non si trova, in quanto la sua funzione è svolta dalla resistenza d'uscita del precedente stadio amplificatore.

L'accoppiamento fra stadio preamplificatore e stadio finale di solito avviene con il sistema *a resistenza e capacità*, ma si può anche adottare l'accoppiamento induttivo *mediante trasformatore*.

Con due transistori funzionanti in controfase (fig. 3-b) si possono ottenere potenze d'uscita notevolmente più elevate di quelle ottenibili da un amplificatore con stadio singolo; inoltre si può avere maggiore rendimento e minore distorsione.

Il funzionamento degli amplificatori finali con transistori in controfase si può distinguere in diverse classi, come quello dei tubi elettronici (*Teorica 21°*):

— CLASSE A; si ha quando la corrente di polarizzazione della base del transistore e l'ampiezza del segnale d'entrata hanno valori tali da far sì che la corrente di collettore circoli per l'intero periodo del segnale da amplificare;

— CLASSE AB; si ha quando la corrente di polarizzazione e l'ampiezza del segnale d'entrata hanno valori tali da far sì che la corrente di collettore circoli per un intervallo maggiore di un semiperiodo e minore dell'intero periodo del segnale da amplificare;

— CLASSE B; si ha quando la corrente di polarizzazione è nulla e la tensione base-emettitore ha un valore tale da far sì che la corrente di collettore circoli soltanto durante un semiperiodo in presenza di qualsiasi segnale.

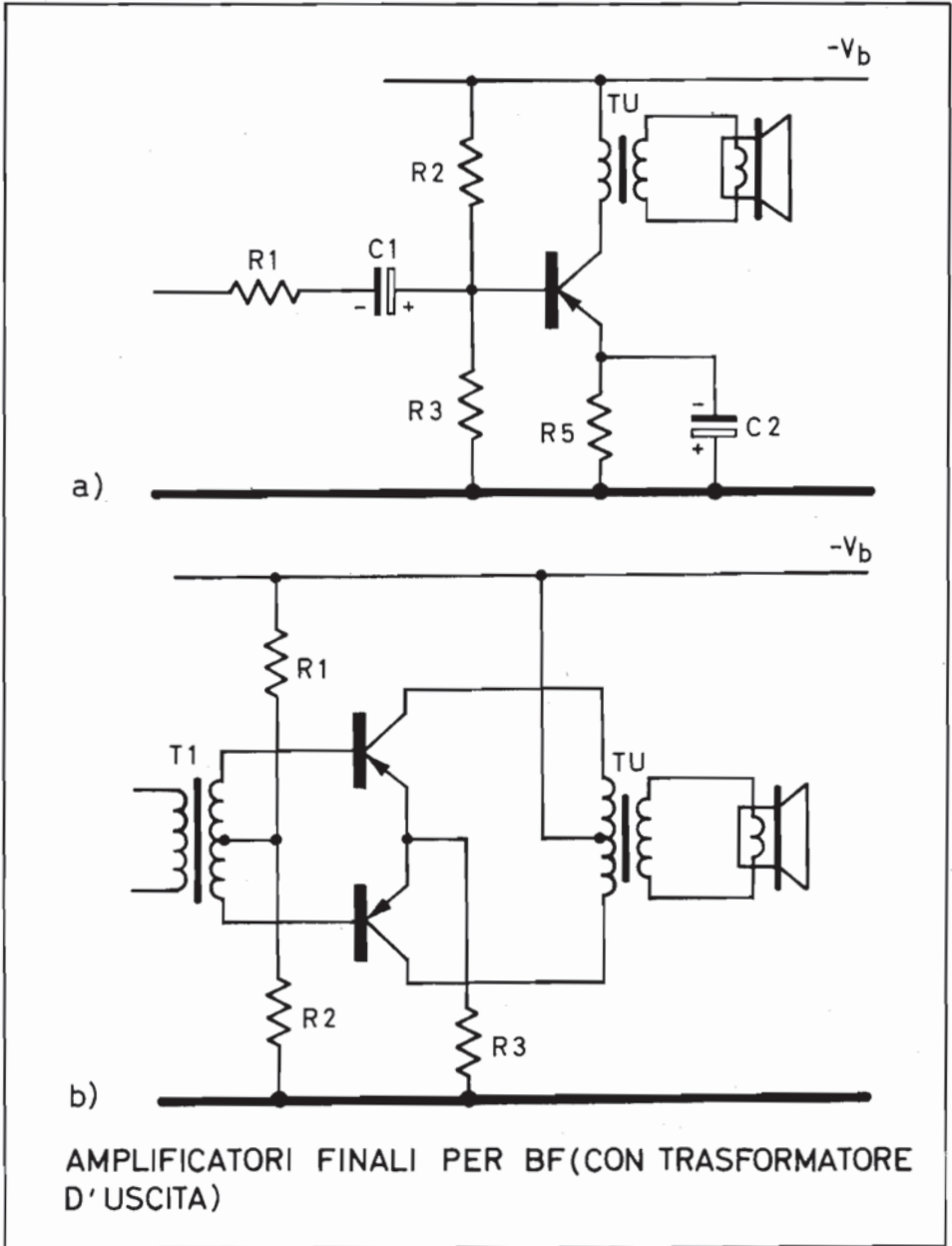


Fig. 3

Alle trè classi precedenti si potrebbe aggiungere anche la CLASSE C, che però non prenderemo in considerazione, poiché gli amplificatori funzionanti in classe C non sono usati nei radioricevitori e quindi nemmeno negli amplificatori BF.

Nei preamplificatori e negli stadi finali con un solo transistoro il funzionamento avviene sempre in *classe A*. Negli stadi finali con due transistori in controfase si adotta il funzionamento in *classe A* soltanto quando si vuole ridurre al minimo la distorsione; si adotta invece il funzionamento in *classe AB*, oppure in *classe B*, come accade frequentemente, quando si voglia ottenere un maggiore rendimento e quindi una più conveniente utilizzazione della potenza erogata dalla batteria d'alimentazione.

Come qualsiasi altro circuito, anche lo stadio in controfase con transistori in connessione ad emettitore comune richiede la stabilizzazione in corrente continua.

Nello schema della *fig. 3-b* la stabilizzazione è data dalla presenza del resistore R3, inserito fra i due emettitori e massa, e dalla presenza del partitore di tensione R1 R2, mediante il quale si alimenta la polarizzazione dei due circuiti di base.

Dal valore dei resistori R1, R2, R3, e dalla tensione d'alimentazione $-V_b$ dipende il funzionamento dello stadio. In particolare, se si adottano valori tali per cui la tensione fra emettitore e base dei due transistori sia uguale a 0,1 V (circa), si può ritenere che lo stadio funzioni in *classe B*; se però la tensione è sensibilmente maggiore di 0,1 V, si può ritenere che lo stadio funzioni in *classe AB* oppure in *classe A*, a seconda dell'ampiezza del segnale.

Di solito per l'accoppiamento fra lo stadio preamplificatore e lo stadio finale si usa il trasformatore pilota (T1); per l'accoppiamento fra lo stadio finale e l'altoparlante si usa il trasformatore d'uscita (TU). Il trasformatore d'uscita però introduce sempre una distorsione del segnale ed una perdita di potenza, principalmente a causa delle resistenze dei suoi avvolgimenti, inoltre riduce la banda passante; perciò si è cercato di eliminarlo, alimentando direttamente la bobina mobile dell'altoparlante.

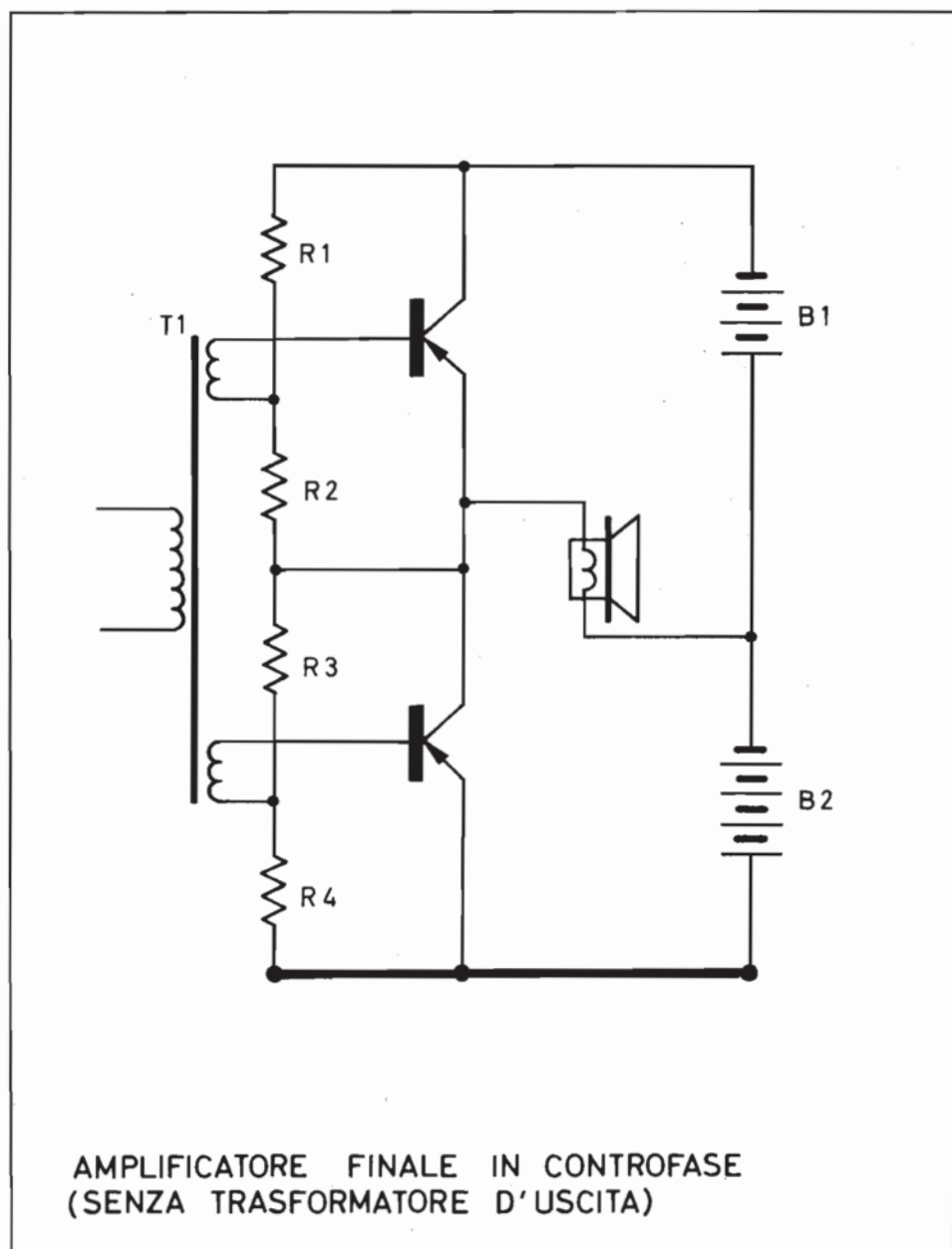


Fig. 4

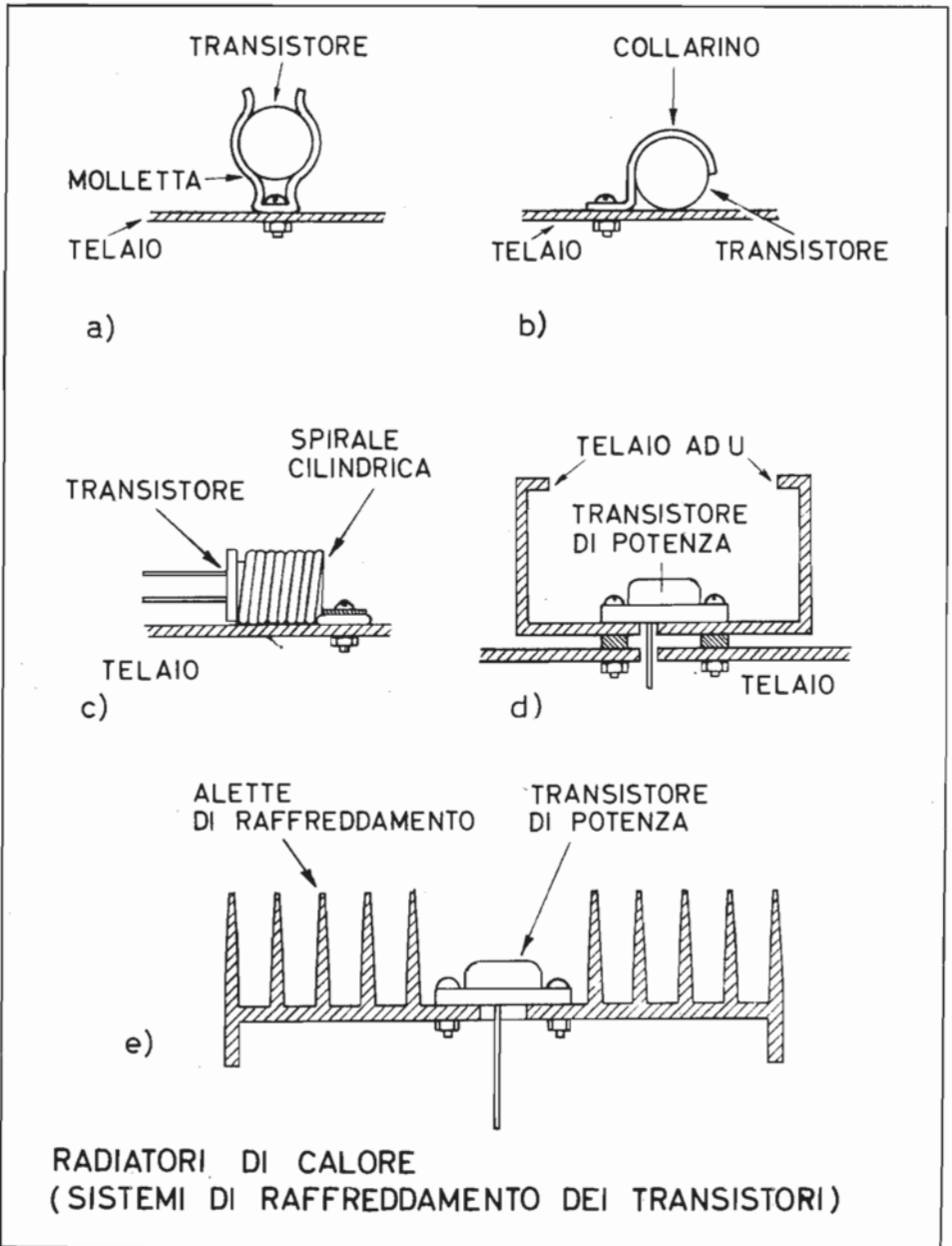


Fig. 5

Per fare ciò si possono usare altoparlanti speciali, muniti di bobina mobile con presa centrale; ma gli altoparlanti di questo tipo sono notevolmente più costosi dei normali, e meno sensibili; perciò si preferisce di solito impiegare altoparlanti normali in circuiti simili a quello rappresentato nella *fig. 4*.

Unici svantaggi di quest'ultima soluzione sono i seguenti: l'alimentazione deve essere fatta con due pile uguali (B1 e B2), ed il trasformatore pilota (T1) deve avere due secondari separati. Questi svantaggi sono però praticamente trascurabili, sia dal lato tecnico, sia da quello economico.

Negli stadi finali i transistori dissipano una notevole potenza elettrica sotto forma di calore, perciò in genere per evitare l'eccessivo riscaldamento dei semiconduttori si ricorre all'uso di sistemi di raffreddamento, specialmente con transistori di grande o media potenza.

Nella *fig. 5* sono illustrati diversi sistemi di raffreddamento per transistori. Quelli della *fig. 5-a*, della *fig. 5-b* e della *fig. 5-c* costituiscono soluzioni molto semplici, ottenute con mezzi occasionali (mollette portafusibili, collarini per cavi, fili di rame avvolti a spirale); si tratta quindi non di veri e propri RADIATORI DI CALORE, ma di accorgimenti adottati dal radiomontatore per migliorare la dissipazione termica nei transistori di piccola potenza. Il telaio ad U ed il sistema con alette di raffreddamento, illustrati rispettivamente nella *fig. 5-d* e nella *fig. 5-e*, costituiscono veri *radiatori di calore*, studiati e realizzati appositamente per il raffreddamento dei transistori di grande e media potenza.

2. - AMPLIFICATORI BF PER GIRADISCHI E PER RADIORICEVITORI

Nella *fig. 6* si trova lo schema di un semplice amplificatore BF costituito da due stadi ad emettitore comune, entrambi stabilizzati in corrente continua con il metodo della resistenza d'emettitore e del partitore di tensione.

L'accoppiamento fra lo stadio preamplificatore ed il finale è del tipo a resistenza e capacità.

Fra il secondario del trasformatore d'uscita (TU) e l'entrata del preamplificatore è collegato un resistore da 68 k Ω , attraverso il quale

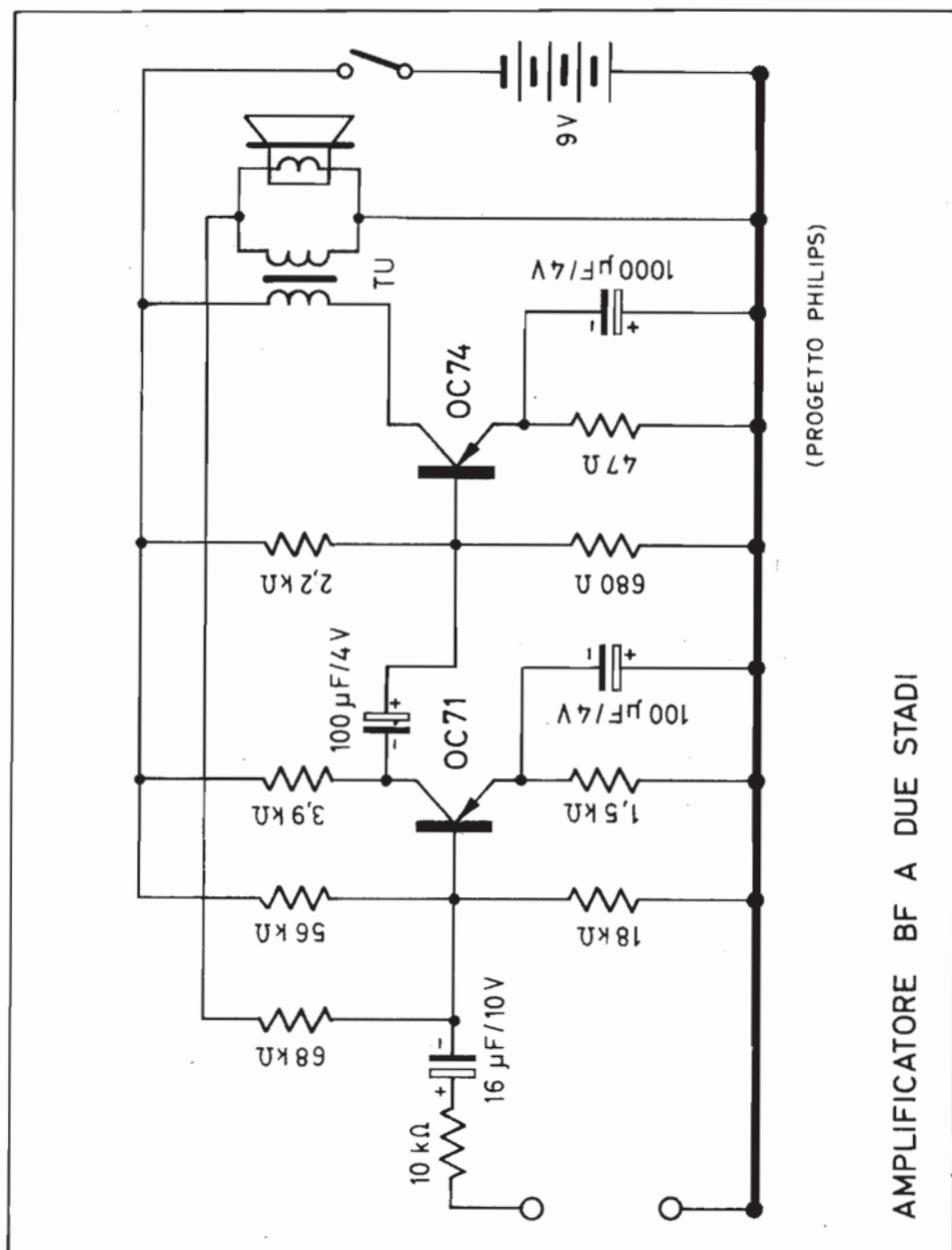


Fig. 6

una parte del segnale viene retrocessa all'entrata, in modo da determinare una reazione negativa (controreazione) sufficiente a ridurre la distorsione totale del segnale entro il 4%, per una potenza d'uscita di 120 mW.

L'amplificatore a tre stadi presentato nella *fig. 7* è costituito da due preamplificatori e da uno stadio finale in controfase con trasformatore pilota (T1) e trasformatore d'uscita (TU).

I tre stadi sono stabilizzati in corrente continua con il solito sistema della resistenza d'emettitore e del partitore di tensione.

L'accoppiamento fra i due preamplificatori è del tipo a resistenza e capacità.

La resistenza da 150 Ω inserita nel circuito d'alimentazione ed il condensatore da 100 $\mu\text{F}/16$ V inserito fra lo stesso circuito d'alimentazione e la massa servono ad impedire che le fluttuazioni della corrente d'alimentazione e le conseguenti fluttuazioni della tensione d'alimentazione determinate dalla resistenza interna della batteria si ripercuotano sull'entrata degli stadi preamplificatori.

La resistenza da 100 k Ω , collegata fra il secondario del trasformatore d'uscita e l'entrata del secondo preamplificatore, consente invece di introdurre una certa reazione negativa (controreazione), tale da mantenere la distorsione totale inferiore al 5%, per una potenza complessiva d'uscita pari a 1 W.

Il potenziometro da 1 M Ω posto all'entrata dell'amplificatore serve come controllo di volume.

La risposta in frequenza è accettabile nel campo che va da 60 Hz a 12 kHz.

L'amplificatore funziona in classe B e può essere usato in un complesso di bassa frequenza con giradischi od anche come circuito di bassa frequenza per radioricevitori.

Vediamo ora un esempio di amplificatore stereofonico a transistori: si tratta di un complesso portatile elaborato dalla Philips per la riproduzione stereofonica dei toni medi ed acuti da 300 Hz a 12 kHz; per la riproduzione dei bassi da 60 Hz a 300 Hz si prevede invece l'utilizzazione di un adatto amplificatore BF, a valvole od a transistori, non stereofonico.

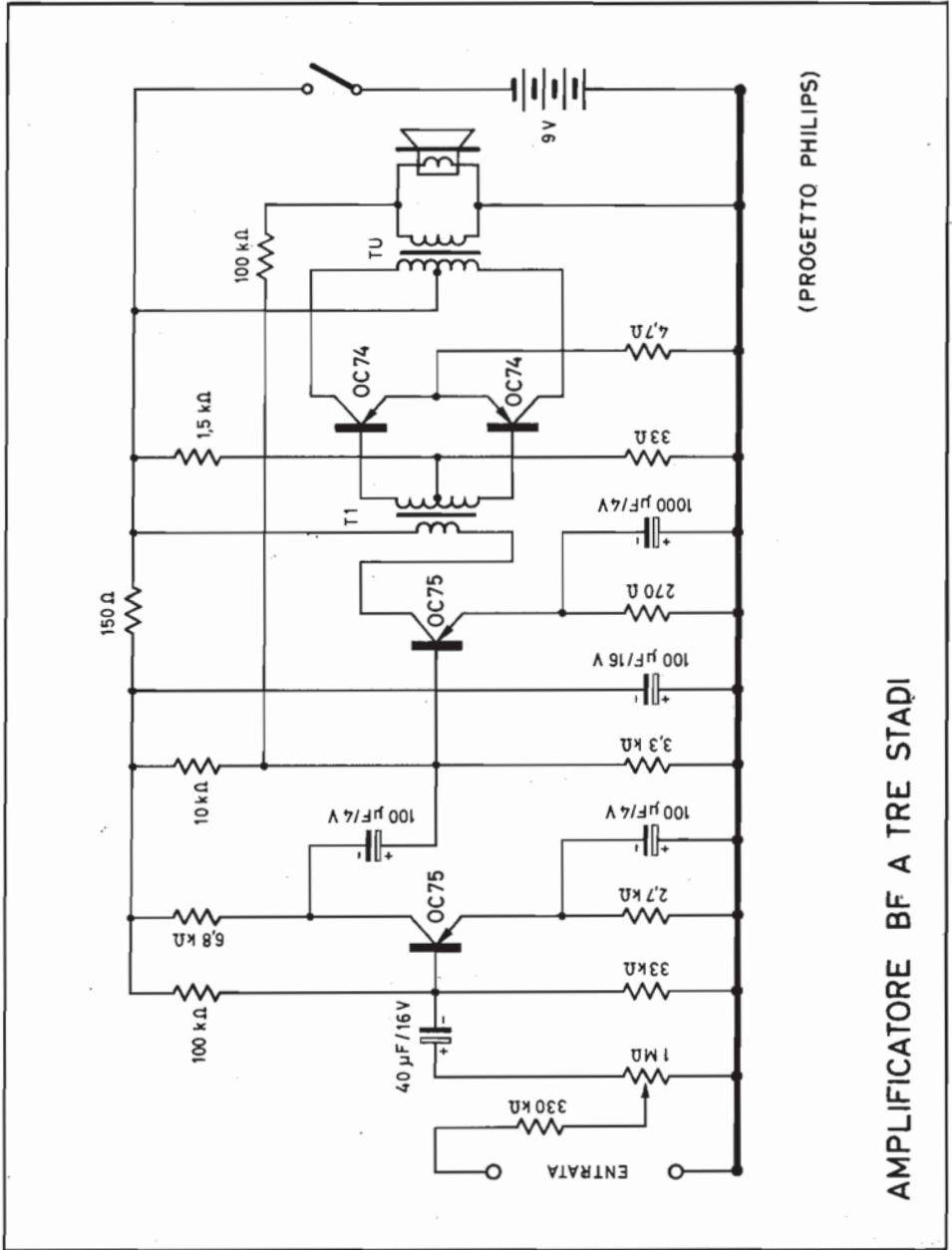


Fig. 7

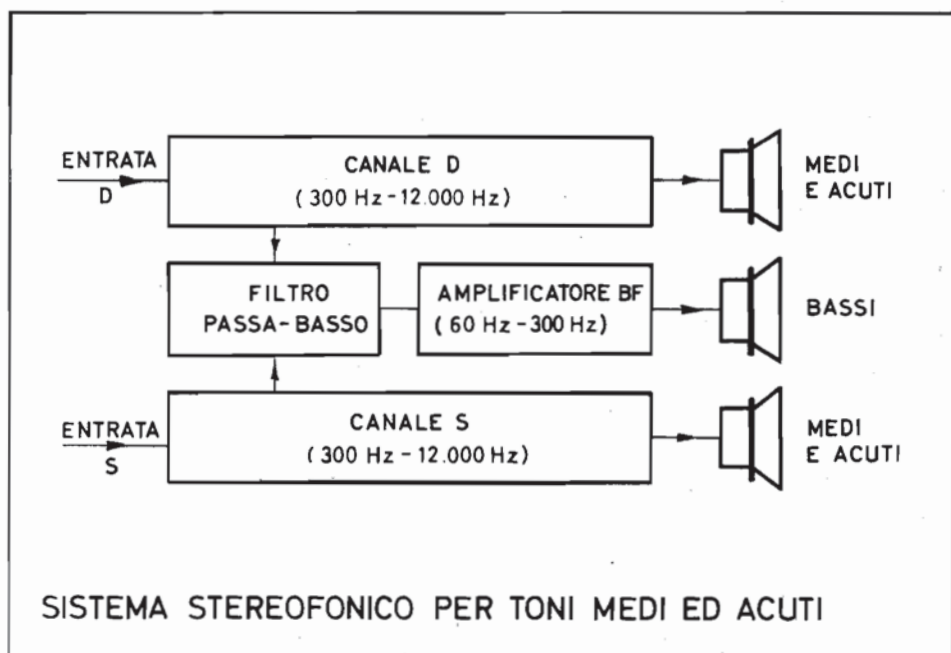


Fig. 8

Nella *fig. 8* si trova lo schema a blocchi di tutto il sistema, stereofonico e monofonico.

Il complesso stereofonico è costituito da due CANALI, cioè due amplificatori di bassa frequenza perfettamente uguali fra loro:

- il *canale D*, destinato al segnale che va all'altoparlante di destra;
- il *canale S*, destinato al segnale che va all'altoparlante di sinistra.

Nel complesso che presenteremo i primi due stadi preamplificatori sono adatti per l'amplificazione delle frequenze acustiche che vanno da 60 Hz a 12 kHz; però gli stadi successivi sono adatti soltanto per le frequenze comprese fra 300 Hz e 12 kHz. Le frequenze basse comprese fra 60 Hz e 300 Hz vengono convogliate attraverso un apposito filtro passa basso all'entrata di un normale amplificatore BF monofonico, adatto alla riproduzione dei bassi.

Nella *fig. 9* è riportato lo schema di un canale del complesso stereofonico; l'altro canale, del quale sono stati indicati l'entrata ed i punti di connessione, è perfettamente uguale a quello rappresentato nella figura.

I due canali sono alimentati con un medesimo raddrizzatore a ponte, che fornisce all'uscita la tensione continua di 24 V.

Dal collettore del secondo transistor OC75, attraverso un resistore da 39 k Ω , si preleva parte del segnale dell'uno e dell'altro canale, portandola all'entrata del filtro passa basso. Il filtro è costituito dal resistore da 100 k Ω , dal condensatore da 8,2 nF e dal condensatore da 33 nF; esso convoglia all'USCITA BASSI le frequenze comprese fra 60 Hz e 300 Hz.

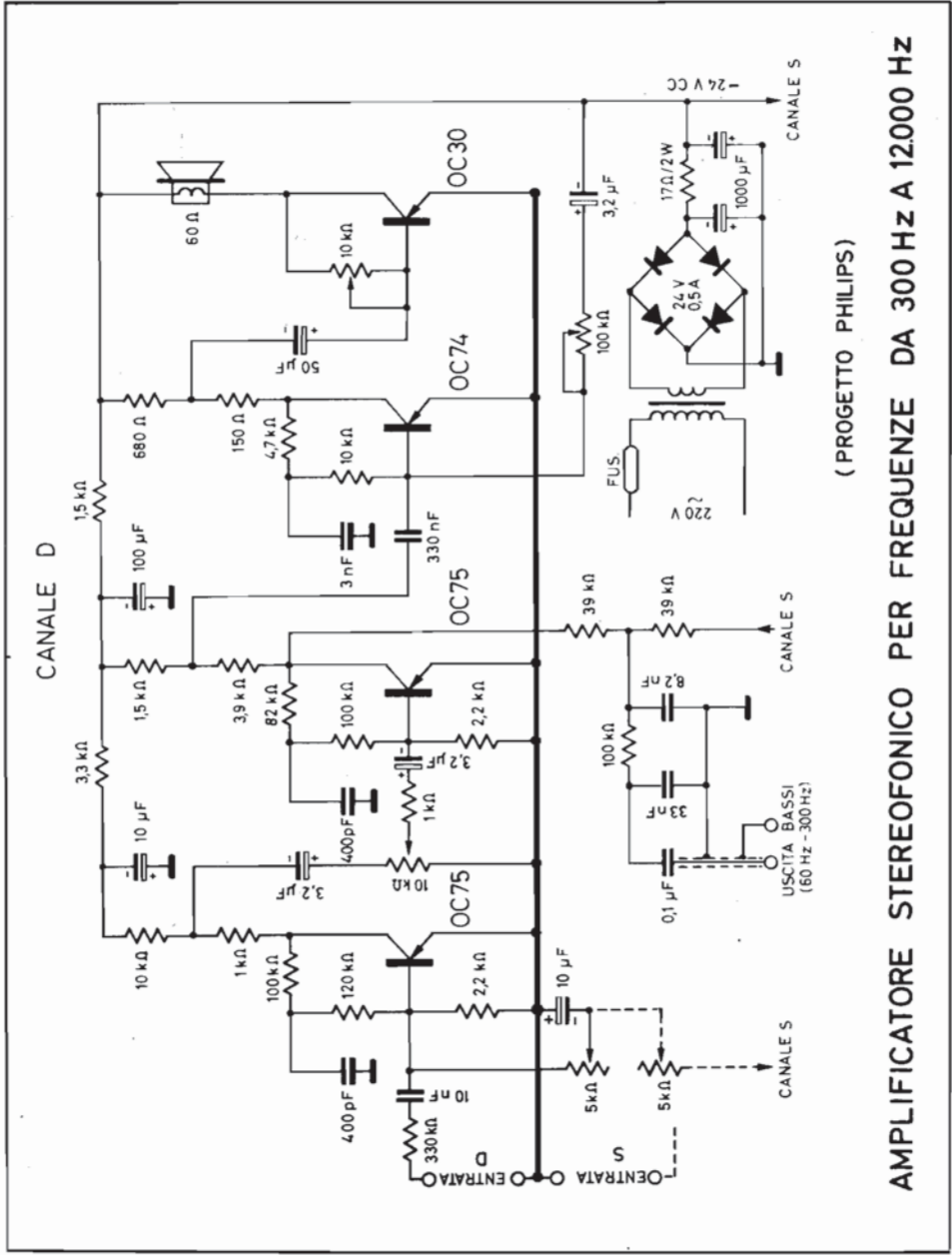
I due potenziometri da 5 k Ω sono comandati con un solo alberino e servono per la regolazione del tono nei due canali.

Il potenziometro da 10 k Ω inserito fra l'uscita del primo stadio con OC75 e l'entrata dello stadio successivo serve come controllo di volume (i controlli di volume dei due canali sono fra loro separati).

I primi due stadi preamplificatori sono stabilizzati in corrente continua con il sistema della controreazione di collettore (*fig. 2-a*) e con un partitore di tensione che alimenta il circuito di base; il terzo stadio con OC74 è anch'esso stabilizzato con il sistema della controreazione di collettore; lo stadio finale non è dotato di circuiti particolari, tuttavia anche in questo caso si ottiene la stabilizzazione in corrente continua regolando la corrente di base in modo che la tensione di collettore sia inferiore od al massimo uguale alla metà della tensione di alimentazione, cioè minore od uguale a 12 V. Per consentire la regolazione della corrente di base nell'ultimo stadio è stato introdotto come resistore di base un resistore semifisso da 10 k Ω .

Un altro resistore semifisso da 100 k Ω è usato con un condensatore da 3,2 μ F per formare un circuito di compensazione regolabile, destinato ad attenuare il ronzio dovuto alle fluttuazioni della tensione d'alimentazione.

Sul circuito d'alimentazione dei primi due preamplificatori si trovano due gruppi di disaccoppiamento, formati rispettivamente dalla resistenza da 1,5 k Ω e dal condensatore da 100 μ F per il secondo preamplificatore; dalla resistenza da 3,3 k Ω e dal condensatore da 10 μ F per il primo preamplificatore.



(PROGETTO PHILIPS)

AMPLIFICATORE STEREOFONICO PER FREQUENZE DA 300 HZ A 12000 HZ

Fig. 9

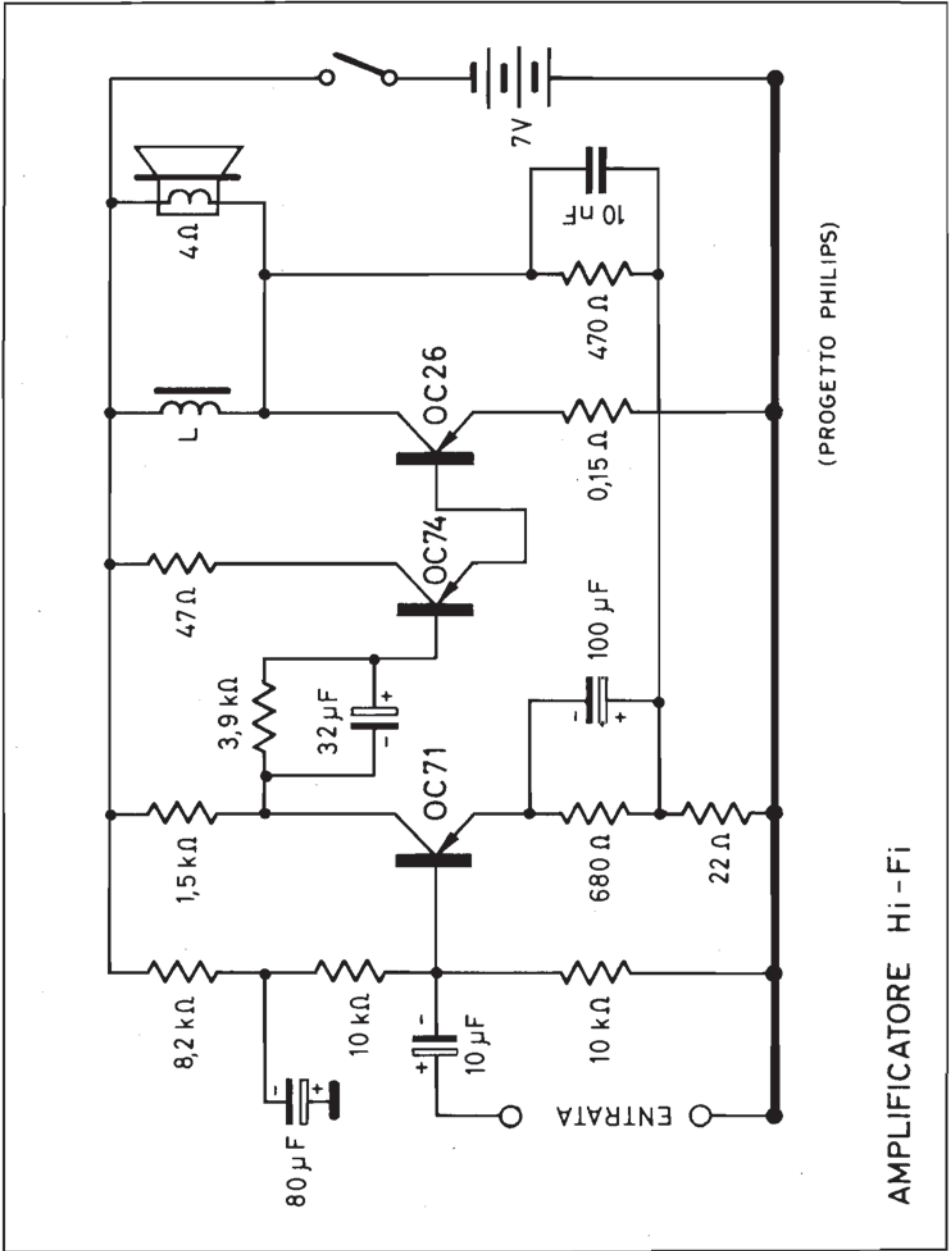


Fig. 10

Ciascuna resistenza di collettore dei transistori OC75 e del transistor OC74 è costituita da due resistori in serie per consentire il prelievo del segnale destinato all'entrata dello stadio successivo in modo da evitare la saturazione in presenza dei segnali forti.

Il complesso stereofonico può fornire la potenza d'uscita di 2 W, cioè di 1 W per canale (1+1 W).

Nella *fig. 10* è riportato lo schema di un amplificatore BF del tipo ad alta fedeltà (HI-FI).

L'apparecchio è stato progettato per una potenza d'uscita di 4 W, con una distorsione del 5% e con un segnale d'entrata di 0,2 V.

Nel circuito dell'amplificatore i transistori OC74 ed OC26 sono collegati in modo che la corrente d'emettitore del primo comandi il secondo; così si ottiene un unico stadio finale costituito dai due transistori, che presentano complessivamente un guadagno di corrente uguale al prodotto dei due guadagni relativi ai singoli transistori.

L'impedenza L inserita nel circuito di collettore dell'OC26 costituisce il carico dello stadio.

Il gruppo formato dalla resistenza da 470 Ω e dal condensatore da 10 nF, collegato fra l'uscita dello stadio finale ed il circuito d'emettitore del transistor OC71, serve ad attenuare la distorsione totale, introducendo una certa controreazione nello stadio preamplificatore.

La risposta in frequenza dell'amplificatore è accettabile nel campo che va da 25 Hz a 20.000 Hz.

3. - BATTERIE PER L'ALIMENTAZIONE DEGLI APPARECCHI A TRANSISTORI

I circuiti degli amplificatori BF studiati finora, ed in generale tutti gli apparecchi a transistori, si possono alimentare bene sia con le batterie a bassa tensione, sia con i raddrizzatori di corrente alternata, già visti nelle precedenti lezioni relative ai diodi a cristallo; tuttavia,

trattandosi per lo più di apparecchi di tipo portatile o tascabile, si è maggiormente diffuso l'impiego delle batterie, le quali presentano il vantaggio di rendere gli apparecchi totalmente indipendenti dalle fonti esterne d'energia.

Le batterie di uso corrente si possono distinguere in due gruppi:

— le BATTERIE PRIMARIE, che derivano dalla *pila di Volta* studiata nella *Teorica 3°*;

— le BATTERIE SECONDARIE, più note con il nome di ACCUMULATORI, le quali differiscono dalle precedenti in quanto possono essere ricaricate.

Nella *fig. 11* si può vedere come è costituita internamente una pila primaria tipo LECLANCHÈ, molto usata negli apparecchi portatili.

L'elettrodo positivo è costituito da un bastoncino di carbone di storta, mentre quello negativo è costituito dallo stesso involucro metallico che racchiude i vari elementi.

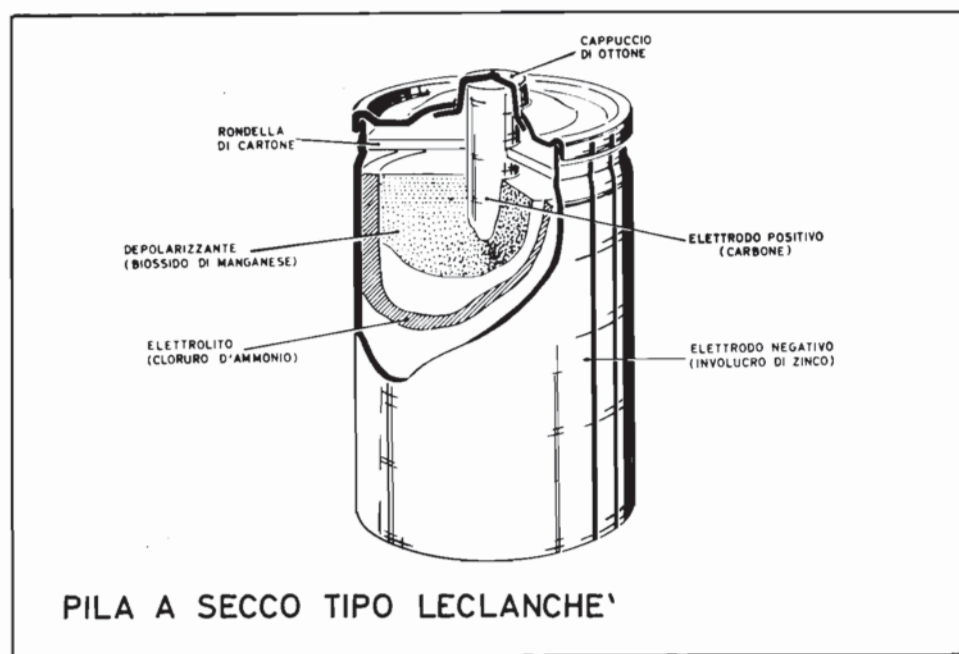


Fig. 11

Come elettrolito si usa una soluzione di cloruro d'ammonio, immobilizzata in materiale assorbente. Attorno all'elettrodo positivo (carbone) è disposto uno strato depolarizzante costituito da un miscuglio di biossido di manganese, grafite e nero d'acetilene.

Nella *fig. 12* si può vedere un altro tipo di batteria primaria, cioè la pila al mercurio tipo RUBEN-MALLORY, in due tipiche versioni: l'una a forma cilindrica (*fig. 12-a*) e l'altra a forma di bottone (*fig. 12-b*).

Le batterie di questo tipo sono costituite essenzialmente da zinco, ossido di mercurio ed idrossido di potassio.

L'elettrodo negativo è costituito da un'amalgama di zinco puro, ridotto in particelle di dimensioni uniformi.

L'elettrodo positivo è composto da ossido di mercurio purissimo con una piccola percentuale di grafite e di biossido di manganese; esso funziona anche da depolarizzante.

L'elettrolito è composto da una soluzione acquosa di idrossido di potassio.

Il tutto di solito è racchiuso in contenitori d'acciaio nichelato, sigillati con guarnizioni di politene interposte fra il contenitore e l'involucro esterno, anche esso d'acciaio nichelato.

Le reazioni chimiche interne avvengono sullo zinco, che si ossida, e sull'ossido di mercurio che si riduce allo stato metallico.

Le batterie al mercurio sono più vantaggiose delle batterie di tipo Leclanché, soprattutto perché, a parità di capacità elettrica, la pila al mercurio ha dimensioni molto più piccole, come dimostra il confronto stabilito nella *fig. 13*.

Nelle batterie primarie l'energia elettrica si ottiene convertendo l'energia chimica mediante processi irreversibili, cioè operando trasformazioni a senso unico sui materiali della pila; nelle batterie secondarie si ottiene invece energia elettrica con processi chimici reversibili, cioè tali da consentire la ricostituzione delle sostanze chimiche presenti all'inizio della scarica.

Le batterie appartenenti al secondo gruppo in genere sono molto più pesanti ed ingombranti delle batterie primarie ed in particolare

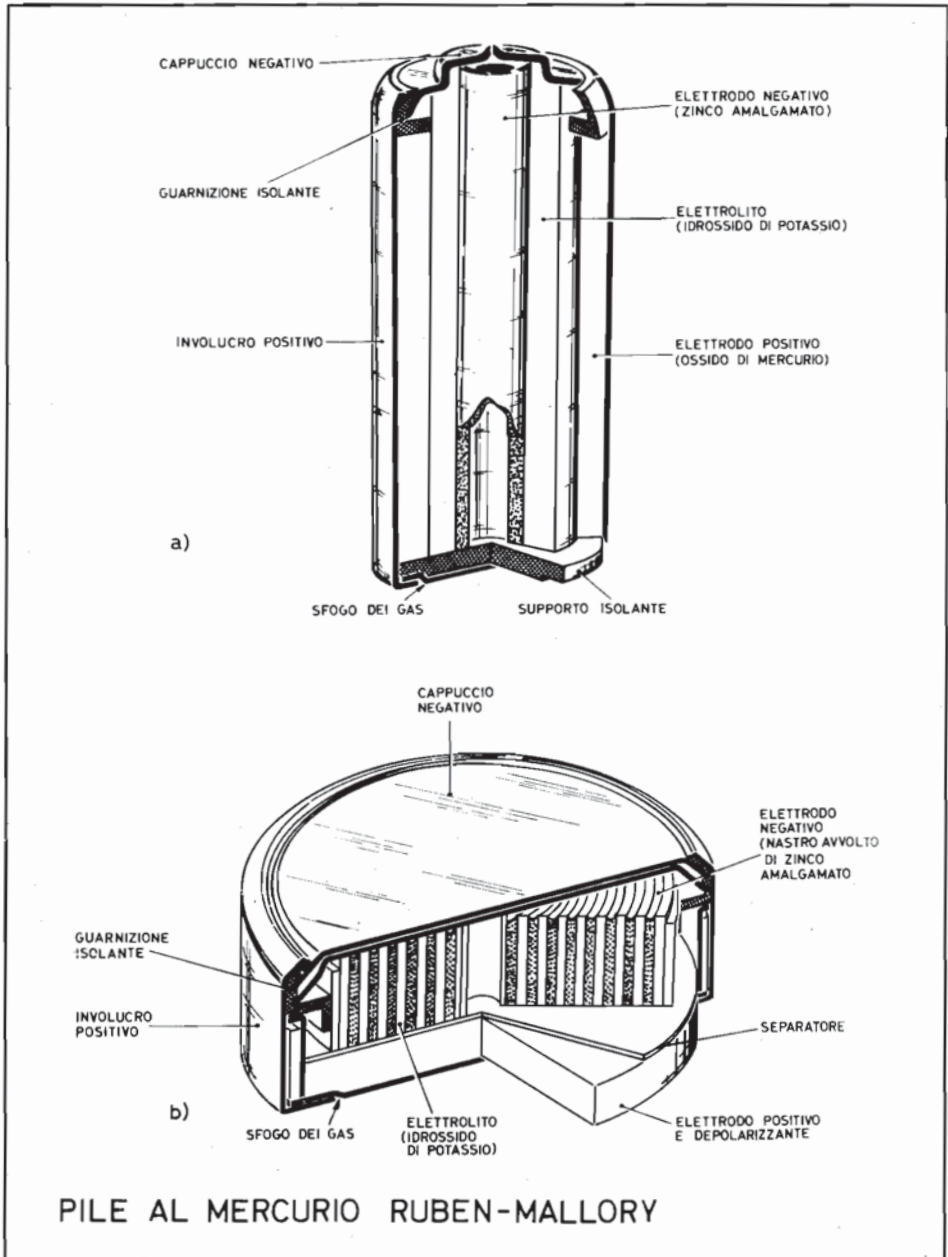


Fig. 12

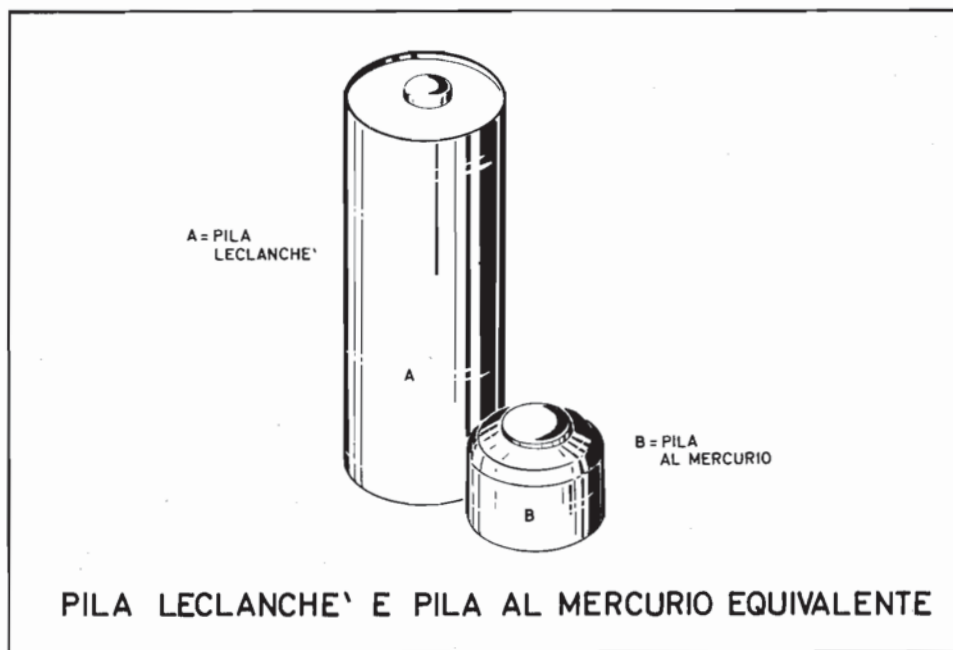


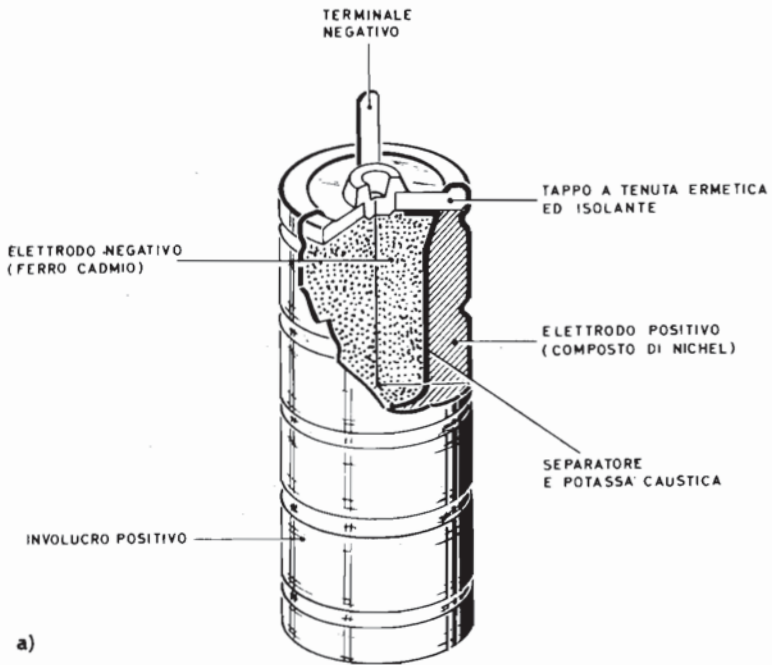
Fig. 13

delle batterie considerate sopra; inoltre richiedono operazioni periodiche di manutenzione, quali il regolare rabboccamento di acqua distillata ed altre attenzioni che costituiscono un ostacolo al loro uso in apparecchi portatili.

La soluzione di questi problemi si poteva trovare soltanto nella realizzazione di un accumulatore assolutamente ermetico, e quindi tale da poter essere usato in qualsiasi posizione.

Da alcuni anni un nuovo procedimento ha portato la soluzione del problema sopprimendo la liberazione dell'idrogeno, che si ha nei normali accumulatori, ed ottenendo la ricombinazione dell'ossigeno grazie all'azione svolta da alcune sostanze chimiche di cui sono composti gli elettrodi.

Gli accumulatori ermetici possiedono la stessa costituzione chimica dei noti accumulatori al nichel cadmio: l'elettrodo positivo è composto da nichel e quello negativo da cadmio. Quale elettrolito viene usata una



a)



b)

ACCUMULATORI ERMETICI AL NICHEL CADMIO
(VARTA - DEAC)

Fig. 14

soluzione di potassa caustica immobilizzata negli elettrodi e nel separatore (*fig. 14-a*).

La resistenza interna degli elementi è apprezzabilmente minore di quella delle comuni pile a secco, perciò con gli accumulatori ermetici al nichel cadmio si ottengono tensioni di scarica più stabili, anche ad intensità di corrente relativamente elevate.

Nella *fig. 14-b* è presentato un elemento a bottone di dimensioni molto ridotte, il quale è particolarmente indicato per amplificatori a transistori con uscita in cuffia o per altri apparecchi tascabili di potenza limitata.

4. - ESERCITAZIONE PRATICA

MONTAGGIO DEL RICEVITORE CON TRANSISTORE

In questa esercitazione impiegherà il transistor come rivelatore in un semplice ricevitore.

Nella *fig. 15* è riportato lo schema elettrico del circuito.

I segnali captati dall'antenna vengono applicati al circuito risonante formato dalla bobina RF e dal condensatore variabile CV2. Il segnale desiderato viene in tal modo selezionato fra gli altri e poi inviato, tramite il condensatore C32 da 100 pF, al circuito base-emettitore del transistor, nel quale avviene la rivelazione.

La giunzione base-emettitore del transistor funziona così come un diodo per quanto riguarda il segnale RF applicato; perciò la rivelazione del segnale avviene come un comune diodo rivelatore.

Poiché il transistor, da parte sua, funziona come un normale amplificatore, ai capi del resistore di carico R65 da 33 k Ω si localizza la tensione BF amplificata; questa tensione, tramite il condensatore C11 da 10 nF, sarà applicata all'entrata dell'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore supereterodina per un'ulteriore amplificazione e per la riproduzione acustica del segnale.

Il resistore R89 da 1 M Ω connesso fra la base ed il collettore ha la funzione di stabilizzare il punto di funzionamento del transistor,

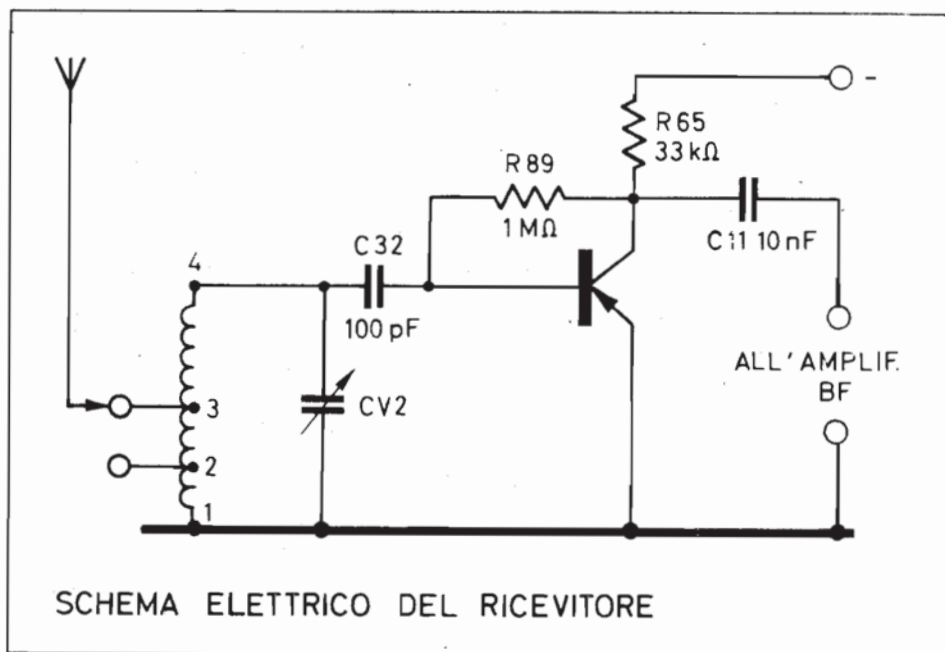


Fig. 15

mantenendolo assai vicino all'interdizione, come è necessario affinché funzioni da rivelatore.

Poiché il montaggio del ricevitore viene eseguito sul telaio A dovrà innanzitutto smontare l'amplificatore realizzato su questo telaio nella scorsa lezione.

Iniziando dal transistore dissaldi quindi tutti i componenti e collegamenti relativi, tranne:

- il filo isolato nero posto fra la linguetta del capocorda CA62 della basetta E ed il capocorda della boccola nera C;

- il filo di rame stagnato nudo posto fra la linguetta del capocorda CA57 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa D;

- il filo isolato rosso posto fra la linguetta del capocorda CA56 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa E;

— il filo isolato rosso posto fra la linguetta del capocorda CA58 della basetta E e l'occhiello del capocorda CA53 della basetta D.

Smonti infine dal telaio la basetta C a cinque capicorda.

Come al solito *il circuito dell'alimentatore non deve essere smontato.*

Il telaio al termine delle operazioni di preparazione deve presentarsi come illustrato nella *fig. 16.*

Può ora passare alla realizzazione del nuovo circuito disponendo i componenti ed i collegamenti nell'ordine che segue.

a) Disponga il condensatore a mica C32 da 100 pF - 1 kVp, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA64 e CA66, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA64.

b) Disponga il resistore ad impasto R89 da 1 M Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - verde, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA66 e CA67, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA66, bloccando così anche il terminale del condensatore C32 precedentemente disposto.

c) Disponga il resistore ad impasto R65 da 33 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (arancio - arancio - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA67 e CA69, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del resistore R89 disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA67.

d) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 8,5 cm e lo disponga ben aderente al telaio fra l'occhiello del capocorda CA58 della basetta E e la linguetta del capocorda CA69 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

e) Disponga il condensatore a carta C11 da 10 nF - 630 V, toll. 20% fra la linguetta del capocorda CA71 della basetta F e la linguetta del capocorda CA56 della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA56.

f) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 6 cm e lo disponga fra le linguette dei capicorda CA67 e CA71, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA71, bloccando così anche il condensatore C11 disposto in precedenza.

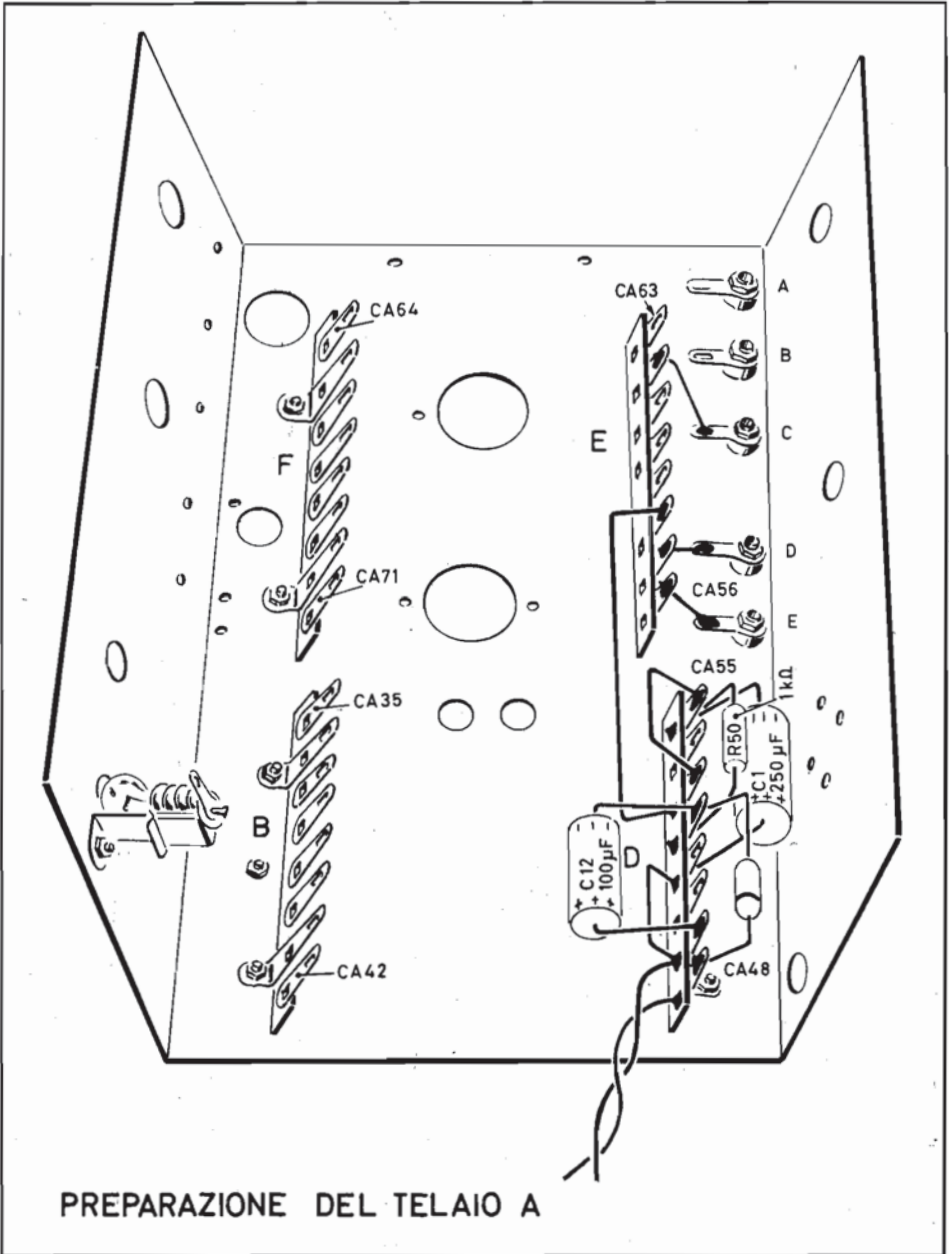


Fig. 16

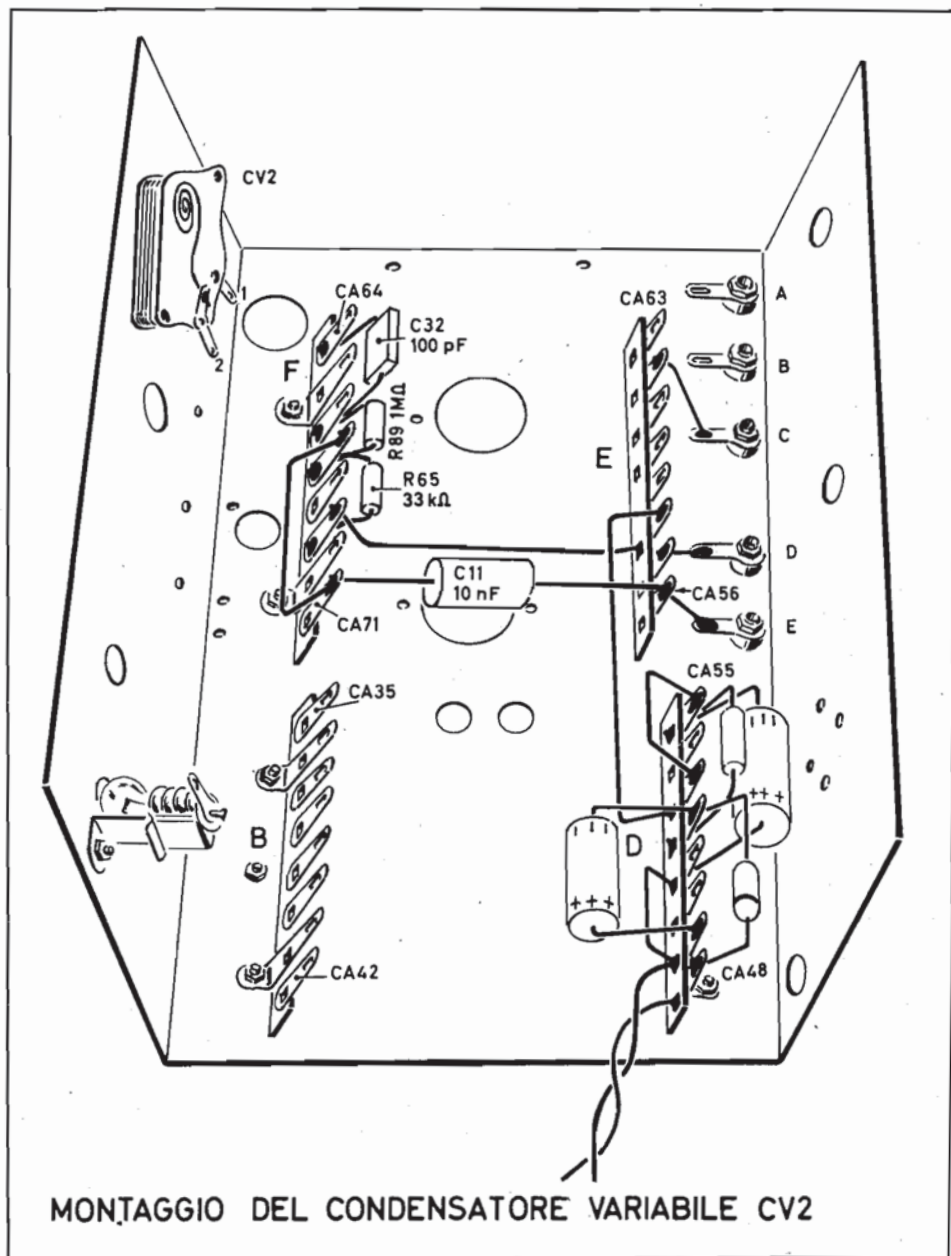


Fig. 17

Deve ora montare sul telaio il condensatore variabile CV2 e la bobina RF.

g) Monti con la solita tecnica il condensatore variabile CV2 nel foro praticato sul fianco sinistro del telaio, come indicato nella *fig. 17*; in questa figura sono anche riportati gli altri collegamenti finora eseguiti. A fissaggio ultimato il condensatore deve trovarsi in posizione leggermente obliqua per evitare che sporga oltre il bordo superiore del fianco sinistro del telaio.

h) Disponga la bobina RF sul telaio come indicato nella *fig. 18*, in corrispondenza del foro già utilizzato nella precedente lezione per il montaggio della stessa bobina; fissi la bobina con una vite da 3×6 mm ed un dado da 3 MA.

I due componenti sono ora pronti per essere collegati al circuito; prima di eseguire questa operazione è opportuno controllare con l'ohm-

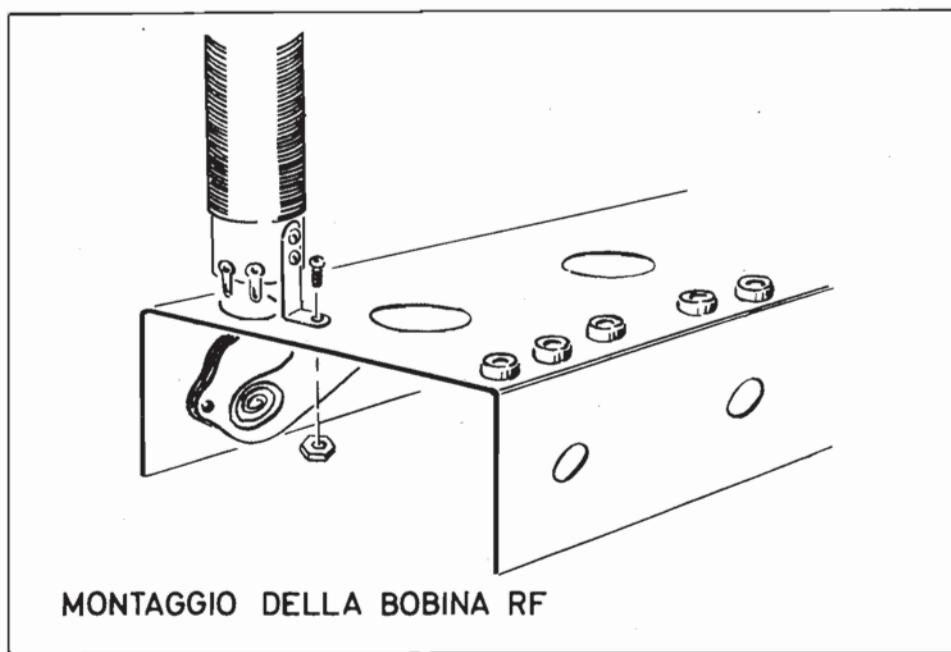


Fig. 18

metro l'isolamento del condensatore variabile CV2 e la continuità della bobina RF.

Disponga l'analizzatore per la misura di resistenza con la portata di $R \times 1.000$ e tocchi con i puntali i terminali del condensatore variabile CV2; mantenendo i due puntali a contatto con i terminali ruoti lentamente l'alberino di comando: l'indice dello strumento non si deve spostare dalla posizione di riposo.

Poiché l'avvolgimento di reazione della bobina RF non verrà utilizzato in questo circuito, verificherà con l'ohmmetro solamente l'avvolgimento d'antenna.

Per controllare la continuità dell'avvolgimento d'antenna deve disporre l'analizzatore con la portata di $R \times 10$: fra i capocorda 1 e 4 deve misurare un valore di resistenza compreso fra 2Ω e 4Ω , fra i capocorda intermedi deve misurare valori più bassi di resistenza.

Qualora non dovesse rilevare continuità, si accerti che qualche filo dell'avvolgimento non sia dissaldato dal relativo capocorda.

Dopo avere controllato con l'ohmmetro il condensatore variabile e la bobina può eseguire i collegamenti fra questi ed il circuito.

i) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 6 cm circa e lo disponga fra il capocorda 1 della bobina RF e l'occhiello del capocorda CA65 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

j) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 12 cm circa e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda della boccola gialla B ed il capocorda 2 della bobina RF; esegua la saldatura su entrambi i punti.

k) Tagli uno spezzone di filo isolato verde lungo 12 cm circa e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda della boccola verde A ed il capocorda 3 della bobina RF; esegua la saldatura su entrambi i punti.

l) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 4,5 cm circa e lo disponga fra il capocorda 4 della bobina RF ed il terminale 1 del condensatore variabile CV2; esegua la saldatura solamente sul capocorda 4 della bobina RF.

m) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 2,5 cm circa e lo disponga fra il terminale 1 del condensatore variabile CV2 e la linguetta del capocorda CA64 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il filo isolato giallo disposto in precedenza sulla linguetta 1 del condensatore variabile CV2.

n) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2,5 cm e lo disponga fra il terminale 2 del condensatore variabile CV2 e la linguetta del capocorda CA65 della basetta F; esegua la saldatura solamente sul terminale 2 del condensatore variabile CV2.

Per completare il circuito non Le rimane che collegare il transistor; prima però di eseguire questa operazione è opportuno effettuare il controllo ohmmetrico del circuito per accertarsi dell'esattezza del montaggio eseguito.

Nella tabella della *fig. 19* sono indicati i punti del circuito fra i quali deve eseguire le misure di resistenza con l'ohmmetro. Se qualche valore misurato non corrisponde a quelli in essa riportati, consulti la tabella della *fig. 20*.

Terminato con esito positivo il controllo a freddo, può collegare il transistor sul lato esterno della basetta F.

o) Saldi il terminale di emettitore (E) sulla linguetta del capocorda CA65, bloccando così anche il filo di rame stagnato nudo disposto in precedenza; saldi il terminale di base (B) sulla linguetta del capocorda CA66; saldi infine il terminale di collettore (C) sulla linguetta del capocorda CA67, bloccando così anche il filo isolato rosso disposto in precedenza su tale capocorda.

Il montaggio del ricevitore è così ultimato.

I collegamenti eseguiti sono indicati nella *fig. 21* e nella *fig. 22*.

Può ora procedere al controllo sotto tensione del ricevitore a transistor; per effettuare questo controllo deve, come al solito, collegare l'alimentatore realizzato sul telaio A all'avvolgimento secondario a 6,3 V del trasformatore di alimentazione montato sul telaio della supereterodina.

Disponga il telaio del ricevitore supereterodina vicino al telaio A, su cui ha montato il ricevitore a transistor.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DELL'OHMMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V E DA 1.000 Ω/V
1	Fra CA64 e massa	R x 10	2 Ω + 4 Ω
2	Fra CA66 e massa	R x 1.000	800 kΩ + 1,2 MΩ
3	Fra CA67 e massa	R x 1.000	70 kΩ + 500 kΩ
4	Fra CA69 e massa	R x 1.000	40 kΩ + 500 kΩ
5	Fra CA71 e massa	R x 1.000	70 kΩ + 500 kΩ
6	Fra CA64 e CA52	R x 1.000	40 kΩ + 500 kΩ
7	Fra CA66 e CA52	R x 1.000	800 kΩ + 1,2 MΩ
8	Fra CA67 e CA52	R x 1.000	29 kΩ + 39 kΩ
9	Fra CA69 e CA52	R x 10	850 Ω + 1.150 Ω
10	Fra CA71 e CA51	R x 1.000	29 kΩ + 39 kΩ
CONTROLLO A FREDDO DEL RICEVITORE			

Fig. 19

PUNTI TRA I QUALI SI E' MISURATO IL VALORE IRREGOLARE DI RESISTENZA	CAUSA PROBABILE
Tra CA64 e massa	- Avvolgimento d'antenna della bobina RF interrotto
Tra CA66 e massa	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C32 da 100 pF in cortocircuito - Resistore R89 da 1 MΩ interrotto - Resistore R65 da 33 kΩ interrotto
Tra CA69 e massa	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C1 da 250 μF in cortocircuito - Condensatore C12 da 100 μF in cortocircuito
Tra CA67 e CA52	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R65 da 33 kΩ alterato - Resistore R50 da 1 kΩ alterato
Tra CA69 e CA52	- Resistore R50 da 1 k Ω alterato
CONSULENZA SULLE IRREGOLARITA' NEL CONTROLLO A FREDDO DEL RICEVITORE	

Fig. 20

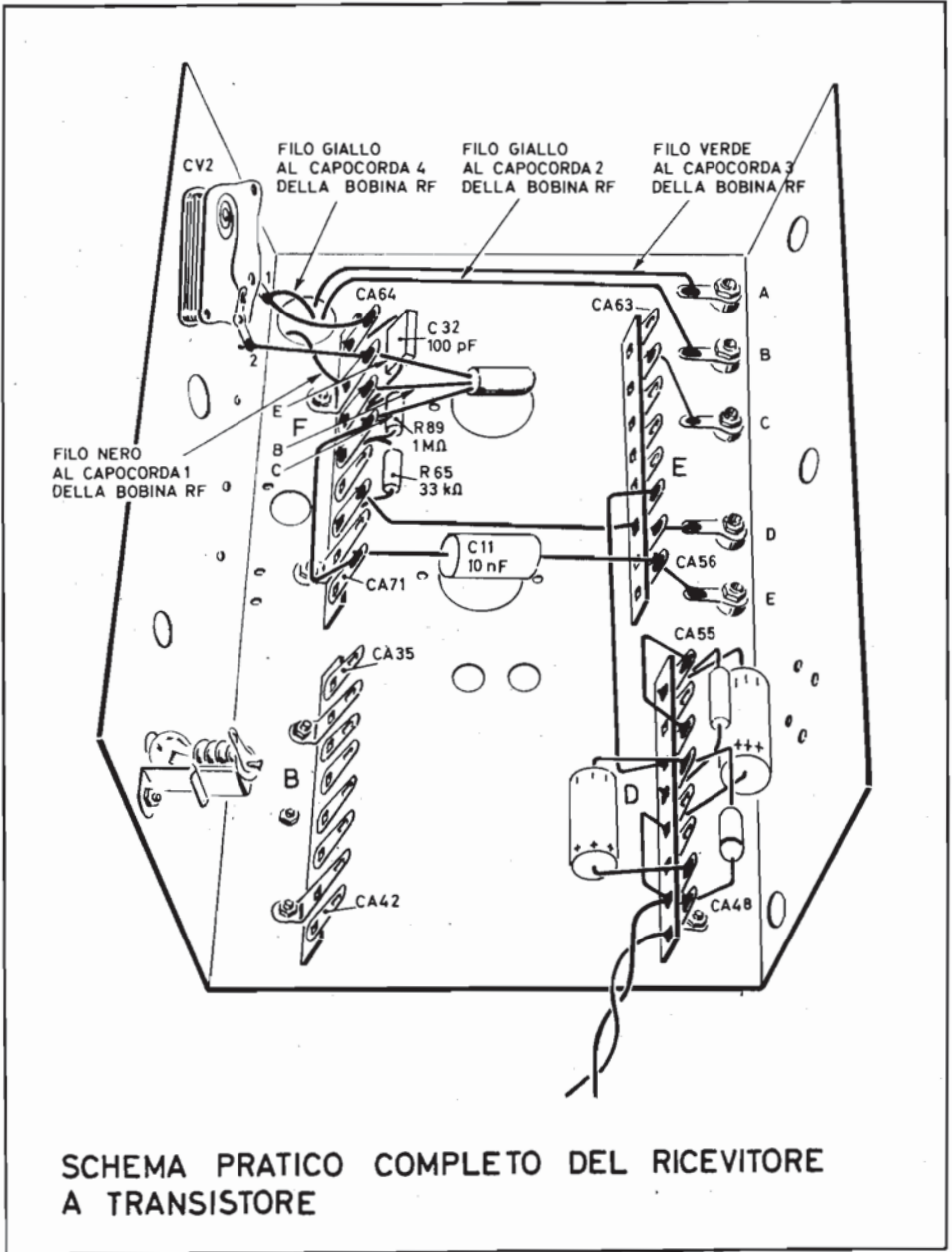


Fig. 21

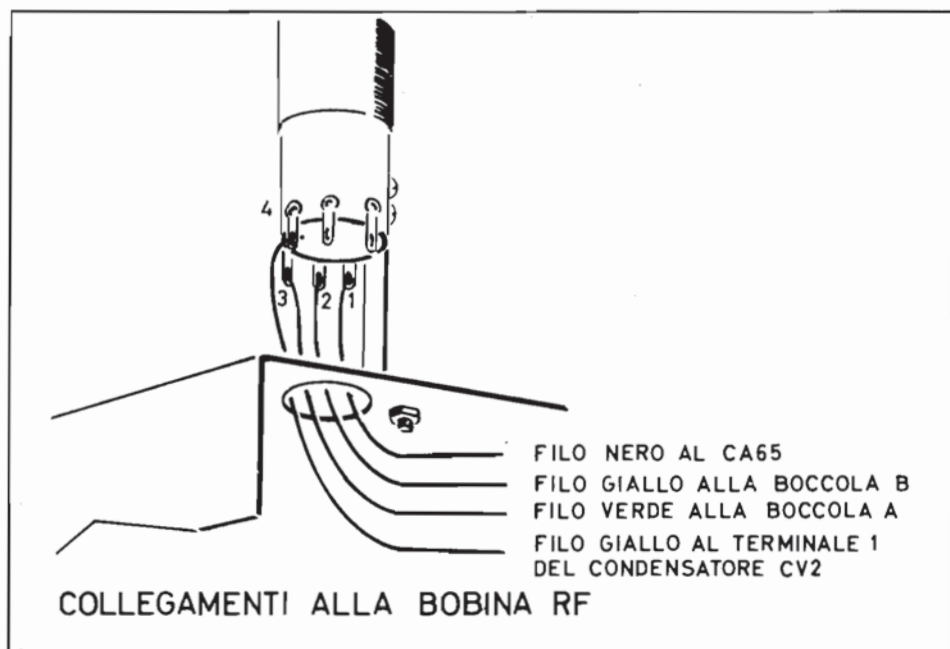


Fig. 22

Saldi il filo trecciola verde proveniente dal telaio A sul cilindretto d'ancoraggio A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

Saldi il filo trecciola nero proveniente dal telaio A sul cilindretto d'ancoraggio A4 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

In primo luogo deve effettuare la misura della tensione all'uscita del diodo dell'alimentatore.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V f.s.; colleghi il puntale rosso a massa e metta il puntale nero a contatto con il capocorda CA52 della basetta D. Dia tensione al trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore supereterodina: lo strumento deve indicare una tensione compresa fra 6,4 V CC e 9,5 V CC.

Se non dovesse misurare alcun valore di tensione controlli che fra massa ed il capocorda CA48 vi sia la tensione alternata da rettificare di valore compreso fra 5 V e 7 V.

Se questa misura risulta regolare verifichi che il diodo al germanio OA81, o equivalente, non sia interrotto e che i condensatori elettrolitici C1 da 250 μ F e C12 da 100 μ F non siano in cortocircuito.

Se la tensione misurata è di valore sensibilmente inferiore a quello indicato si accerti che il condensatore C1 da 250 μ F non sia dissaldato dal circuito.

Ottenuto esito positivo dalla misura della tensione continua all'uscita del diodo, prosegua il controllo sotto tensione del ricevitore collegando il voltmetro fra i punti del circuito indicati nella *fig. 23*.

Concluso il controllo sotto tensione, può effettuare la prova di ricezione.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DEL VOLTMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω /V	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 1.000 Ω /V
1	Fra CA69 (-) e massa (+)	10 V CC	-6,2 V CC \pm -9,2 V CC	-6, V CC + -8,6 V CC
2	Fra CA67 (-) e massa (+)	10 V CC	-2,6 V CC \pm -4,5 V CC	-1,2 V CC + -2 V CC
3	Fra CA66 (-) e massa (+)	1 V CC	-0,06 V CC \pm -0,09 V CC	non misurabile
CONTROLLO SOTTO TENSIONE DEL RICEVITORE A TRANSISTORE				

Fig. 23

Disinserisca dalla rete il trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

Come già accennato, per potere ascoltare le emittenti captate dal ricevitore a transistor deve collegare l'uscita del ricevitore stesso all'entrata dell'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

Per effettuare questa operazione utilizzerà ancora il cavetto schermato munito ad un'estremità di due banane, impiegato nelle precedenti esercitazioni pratiche.

Saldi il conduttore interno del cavetto sulla linguetta F del potenziometro P3 del ricevitore.

Saldi la calza schermante del cavetto sulla linguetta I del potenziometro P3 del ricevitore.

Innesti la banana rossa posta all'altra estremità del cavetto schermato nella boccola rossa E del telaio A e la banana nera nella boccola rossa D.

I due telai devono risultare collegati fra loro come indicato nella *fig. 24*.

Può quindi iniziare la prova di ricezione.

Colleghi alla boccola verde A o gialla B l'antenna che, dall'esperienza acquisita con i ricevitori precedentemente realizzati, si è rivelata più adatta alla ricezione nella Sua zona.

Occorre però tenere presente che il ricevitore realizzato è dotato di sensibilità scarsa (se pure maggiore di quella del ricevitore con diodo a cristallo montato nella *Transistori 4°*), per cui è possibile ottenere una buona ricezione solamente impiegando un'antenna efficiente; potrà quindi, ad esempio, collegare il tappo luce alla boccola verde A del telaio, e la presa di terra alla boccola nera C; oppure potrà collegare uno spezzone di filo alla boccola verde A del telaio, e l'altro estremo dello spezzone ad un oggetto metallico di notevoli dimensioni (come già Le ho suggerito nelle precedenti lezioni pratiche) e collegare alla boccola nera C la presa di terra.

Collegata l'antenna, dia tensione al trasformatore montato sul telaio del ricevitore e ruoti completamente a destra il potenziometro del

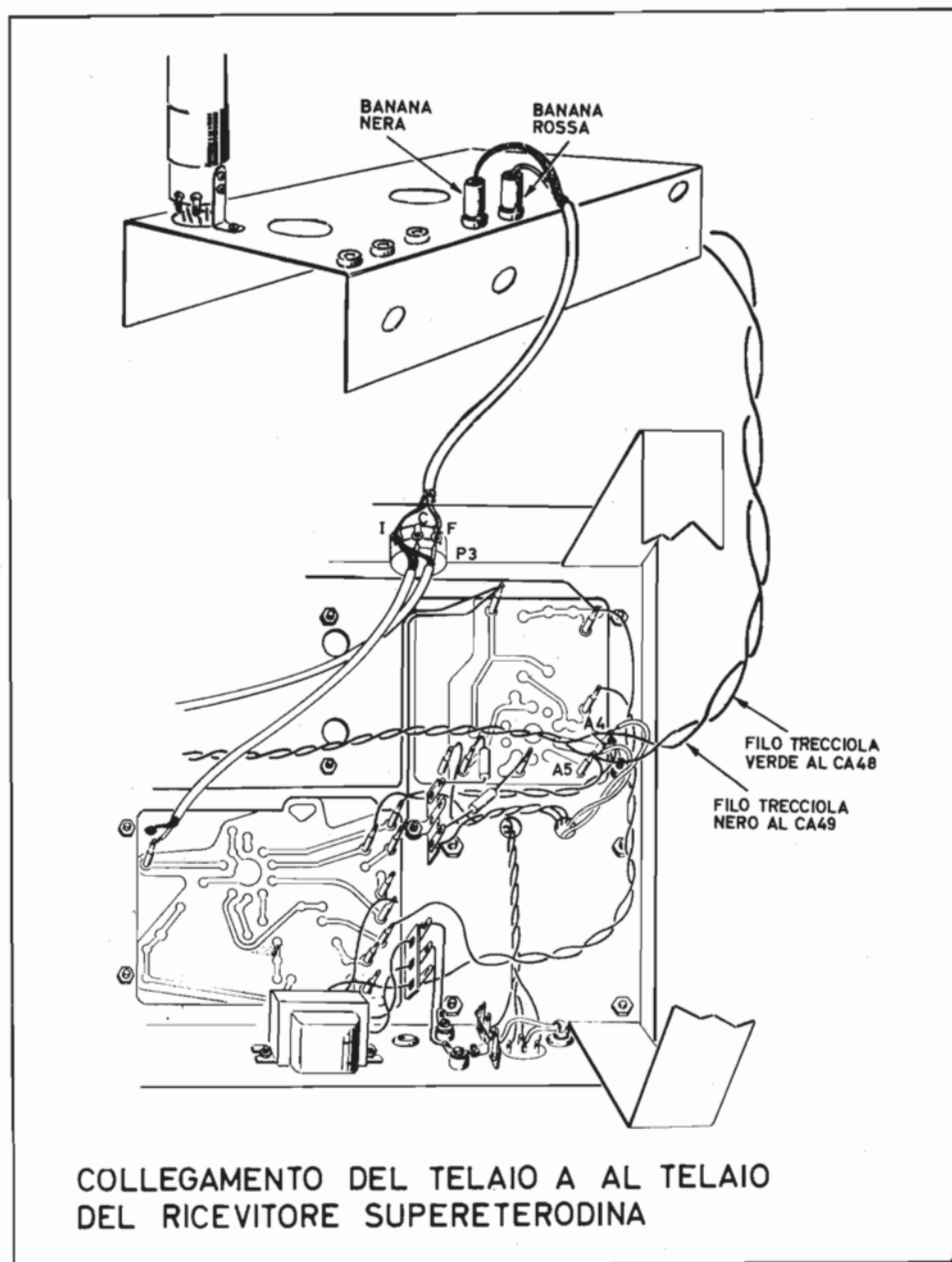


Fig. 24

volume montato sul telaio del ricevitore supereterodina (quando avrà sintonizzata la stazione voluta ridurrà il volume al livello desiderato).

L'operazione che deve eseguire per la sintonizzazione delle emittenti è uguale a quella descritta nella *Transistori 4'* per il ricevitore con diodo a cristallo.

Ruoti lentamente la manopola del condensatore variabile CV2 sino a captare l'emittente irradiata in quel momento; ritocchi il condensatore variabile CV2 sino ad ottenere la massima ricezione.

Anche con questo ricevitore, se Lei abita in una zona chiusa fra i monti oppure lontana dal trasmettitore, non è possibile ottenere una ricezione chiara ed esente da disturbi, ma ci si deve accontentare di captare una sola emittente e spesso in modo non troppo soddisfacente.

Data la scarsa selettività del ricevitore, se Lei risiede in vicinanza di qualche emittente potrà accaderLe di ricevere due o più stazioni sovrapposte; questo inconveniente si può attenuare, come già consigliato in precedenza, diminuendo l'efficienza dell'antenna, ma nella maggior parte dei casi non è possibile effettuare questa separazione.

Se invece non ricevesse alcuna stazione si accerti che l'antenna sia adatta alla ricezione nella zona in cui risiede e che sia innestata a fondo nella relativa boccola del telaio.

Inoltre si assicuri che le banane del cavetto schermato siano inserite a fondo nelle boccole rosse D ed E del telaio e che l'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore supereterodina sia funzionante.

Se non dovesse riscontrare alcuna irregolarità da questi controlli, ripeta con maggior cura il controllo sotto tensione del ricevitore a transistor.

Conclusa la prova di ricezione, spenga l'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

Dissaldi dalle linguette I e F del potenziometro P3 il cavetto schermato munito all'estremità opposta di due banane.

Disinnesti dalle boccole rosse D ed E del telaio A le due banane del cavetto schermato.

Infine dissaldi dai cilindretti d'ancoraggio A4 ed A5 del circuito stampato dell'alimentatore i due fili trecciola verde e nero provenienti dal telaio A.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 8*

1. - Come si possono suddividere gli amplificatori a transistori?
 2. - Quante e quali forme di guadagno si hanno con gli amplificatori a transistori?
 3. - Quando un amplificatore funziona in classe B?
 4. - Per i transistori di media e grande potenza si richiede un particolare sistema di raffreddamento?
 5. - Esistono accumulatori per apparecchi portatili a transistori?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 7*

1. - No; i transistori a giunzione di lega sono adatti per i circuiti BF; vengono anche usati nei circuiti RF dei radioricevitori MA, ma quando le frequenze di funzionamento sono molto alte, come ad esempio nei ricevitori MF, si ricorre a transistori ottenuti con processi di lega e diffusione o con il solo processo di diffusione.
 2. - La risposta di un transistoro alle alte frequenze dipende dal tempo di transito delle cariche elettriche nell'elettrodo di base.
 3. - Si dice gradiente d'impurità la distribuzione graduale della concentrazione degli atomi d'impurità in un semiconduttore.
 4. - Si dice effetto drift l'accelerazione che le cariche elettriche acquistano passando nell'elettrodo di base in cui ci sia un gradiente d'impurità.
 5. - Si dice frequenza di taglio f_{β} la frequenza propria di un transistoro in connessione ad emettitore comune, alla quale il guadagno del transistoro si riduce al 70,7% rispetto al guadagno dello stesso transistoro funzionante alla frequenza di 1.000 Hz.
-

(46)

Classificando gli amplificatori a transistori, nella lezione precedente è stata adottata la seguente suddivisione: *preamplificatori per BF*; *amplificatori finali per BF*; *amplificatori per FI*; *amplificatori per RF*.

Nella *Transistori 8°* abbiamo già esaminato i preamplificatori e gli amplificatori finali per BF; quindi ora ci occuperemo dei rimanenti amplificatori per FI e RF.

Nelle comuni applicazioni di radiotecnica, cioè nei ricevitori a conversione di frequenza, si trovano sempre almeno uno o più stadi FI ed uno o più stadi RF. Talvolta si usa uno stadio RF per amplificare il segnale d'entrata prima della conversione; ma spesso all'entrata del radioricevitore si trova immediatamente lo stadio *convertitore*, che è un sistema di particolari amplificatori RF (*miscelatore ed oscillatore locale*).

Gli amplificatori FI e RF dei radioricevitori in genere hanno la proprietà di essere selettivi, cioè possono funzionare soltanto entro un limitato campo di frequenza, perciò useremo il nome di **AMPLIFICATORE SELETTIVO** per indicare genericamente sia gli amplificatori FI, sia quelli RF, comprendendo fra questi ultimi lo stadio convertitore.

1. - AMPLIFICATORI SELETTIVI

Un amplificatore è selettivo quando si trovi inserito un circuito risonante nel suo circuito d'uscita, oppure nel suo circuito d'entrata, od anche in entrambi i circuiti, quello d'entrata e quello d'uscita.

Qui non è il caso di ripetere quanto è già stato detto nella *Teorica 25°* circa le proprietà dei circuiti risonanti. Basti ricordare che la *banda passante*, cioè l'intervallo di frequenza compreso fra le due frequenze di taglio, può aumentare, diminuendo il *fattore di qualità Q*

del circuito risonante, e viceversa può diminuire, aumentando lo stesso fattore di qualità.

Gli amplificatori selettivi possono essere del tipo *a frequenza fissa*, cioè accordati su una determinata frequenza una volta per sempre, oppure *a frequenza variabile*, per consentire l'accordo sulla frequenza desiderata, che può variare di volta in volta. Nel campo dei radoricevitori a conversione di frequenza sono amplificatori a frequenza fissa gli *stadi a frequenza intermedia (FI)* e sono amplificatori a frequenza variabile gli *stadi a radiofrequenza (RF)*, come già si è visto rispettivamente nella *Teorica 37° (paragrafo 1)* e nella *Teorica 36° (paragrafo 1.2)*.

Esaminiamo separatamente gli stadi dell'uno e dell'altro tipo.

1.1 - Stadi FI dei ricevitori a conversione di frequenza

Gli amplificatori FI hanno due funzioni da svolgere, cioè debbono portare il segnale ad un'ampiezza conveniente per la rivelazione e nello stesso tempo assicurare la selettività del radoricevitore. L'amplificazione del segnale dipende dal transistor; la selettività dipende essenzialmente dai filtri passabanda usati per l'accoppiamento degli stadi, ossia dai *trasformatori FI (Teorica 37°, paragrafo 1)*.

I transistori usati non possono essere gli stessi degli amplificatori BF, poiché la frequenza di funzionamento di un amplificatore FI in genere è molto maggiore delle frequenze BF (per la modulazione d'ampiezza è fissata a circa 467 kHz) e quindi si richiede una frequenza di taglio superiore a quella dei transistori per BF. Inoltre le potenze in gioco negli stadi FI sono molto piccole rispetto a quelle degli stadi BF, perciò gli elettrodi del transistor potranno essere più piccoli ed il sistema di raffreddamento sarà meno importante che per i transistori degli stadi finali.

Il trasformatore FI, come quello dei ricevitori a valvole, è normalmente racchiuso in uno schermo metallico, che va collegato alla massa dell'apparecchio per evitare accoppiamenti indesiderati con altri circuiti dello stesso ricevitore.

Nella *fig. 1-a* si trova lo schema di principio di un amplificatore selettivo per FI.

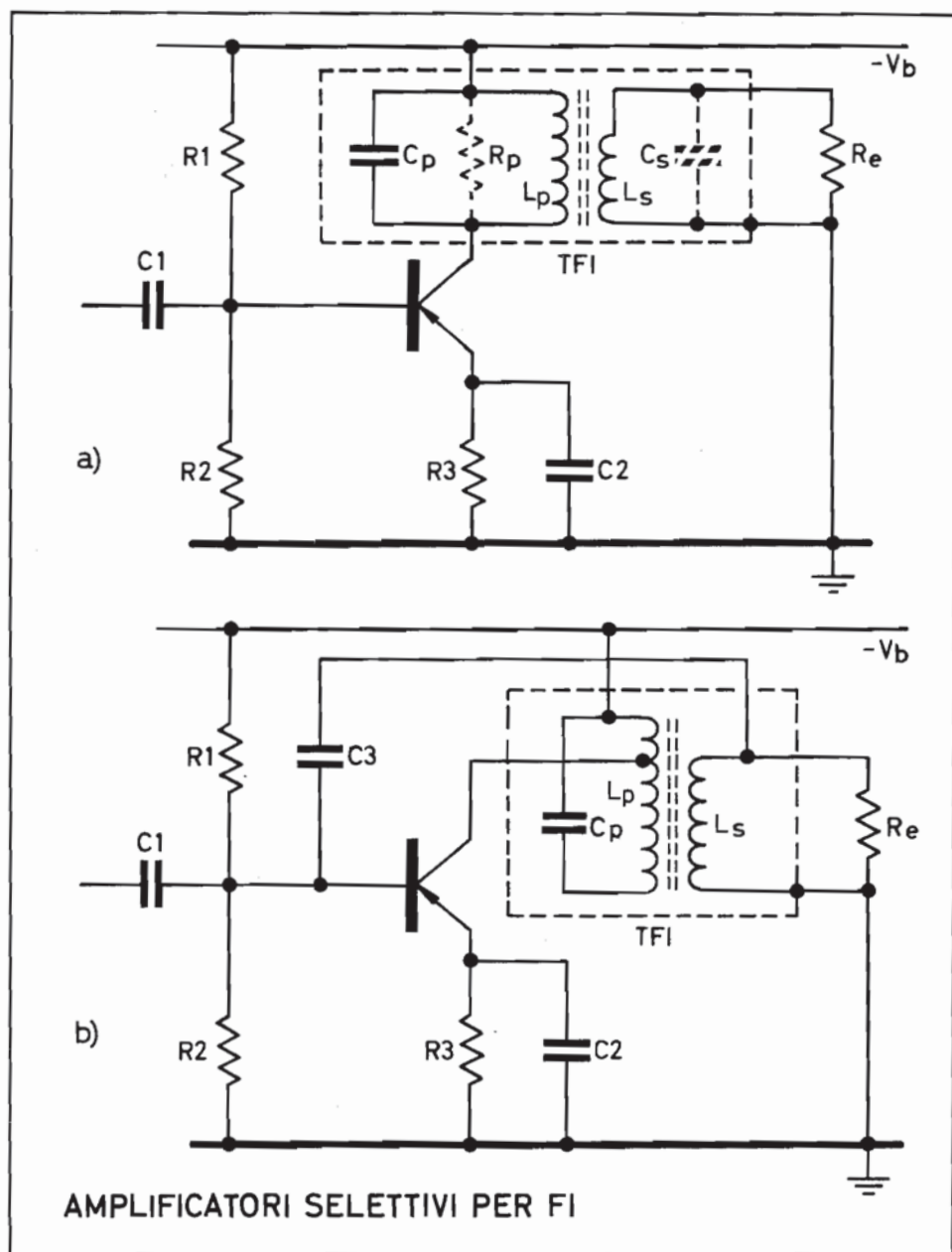


Fig. 1

Lo stadio è del tipo ad emettitore comune già considerato studiando gli amplificatori BF (*Transistori 8°, paragrafo 1.1 e paragrafo 1.2*). La stabilizzazione in corrente continua è ottenuta con il solito sistema del partitore di tensione (R_1 e R_2) e della resistenza d'emettitore (R_3). Il condensatore C_1 rappresenta l'accoppiamento all'uscita dello stadio precedente; il condensatore C_2 serve ad aumentare l'amplificazione del segnale, eliminando praticamente l'effetto di controreazione dovuto alla resistenza d'emettitore (R_3).

Il solo elemento nuovo è costituito dalla presenza nel circuito di collettore del trasformatore a frequenza intermedia (TFI).

Il primario di questo trasformatore è un circuito risonante (C_p, L_p), accordato sul valore di frequenza intermedia prescelto. Il secondario può essere anch'esso un circuito risonante (C_s, L_s), accoppiato con il precedente ed accordato sulla medesima frequenza di risonanza, cioè sul valore di frequenza intermedia prescelto; ma può anche mancare il condensatore C_s , ed in questo caso l'avvolgimento secondario serve esclusivamente per l'accoppiamento allo stadio successivo.

La resistenza R_e rappresenta nel caso del secondario non accordato la resistenza d'entrata dello stadio successivo. La resistenza R_p , che si ottiene formando il parallelo fra la resistenza R_e riportata al primario, la resistenza d'uscita dello stadio FI considerato e la resistenza che rappresenta le perdite del circuito, smorza il circuito risonante primario e determina di conseguenza l'ampiezza della banda passante (9 kHz).

Nella *fig. 1-b* è riprodotto con alcune modifiche lo schema della *fig. 1-a*.

Il trasformatore TFI è dotato di una presa intermedia sull'avvolgimento primario, collegata al collettore. Si tratta di un artificio usato per ridurre la capacità del condensatore d'accordo C_p e per ridurre di conseguenza le dimensioni dello stesso condensatore, che altrimenti non potrebbe essere contenuto nel piccolo schermo metallico. Lo stesso artificio consente di utilizzare due condensatori uguali nel caso in cui il trasformatore TFI sia costituito da due circuiti, primario e secondario, accordati sul valore di frequenza intermedia.

Al condensatore C_3 , che collega il secondario del trasformatore con la base del transistor, è affidata una particolare funzione detta NEUTRALIZZAZIONE.

La neutralizzazione tende ad eliminare alcuni effetti indesiderati, dovuti alla capacità fra collettore e base; in particolare serve ad impedire la formazione di inneschi. Essa è necessaria quando si usano i transistori a lega, quale l'OC45, poiché in essi la capacità collettore-base assume valori dell'ordine di una decina di picofarad, sufficienti per determinare un sensibile accoppiamento fra l'uscita e l'entrata del transistor. Non è invece necessaria quando si usano i transistori a lega e diffusione oppure i transistori a diffusione, per i quali la capacità collettore-base è notevolmente ridotta.

1.2 - Stadi RF dei ricevitori a conversione di frequenza per MA

L'amplificatore RF, quando esiste, è del tipo selettivo a frequenza variabile, con circuiti d'entrata e d'uscita accordabili sulla frequenza dei segnali da ricevere (fig. 2).

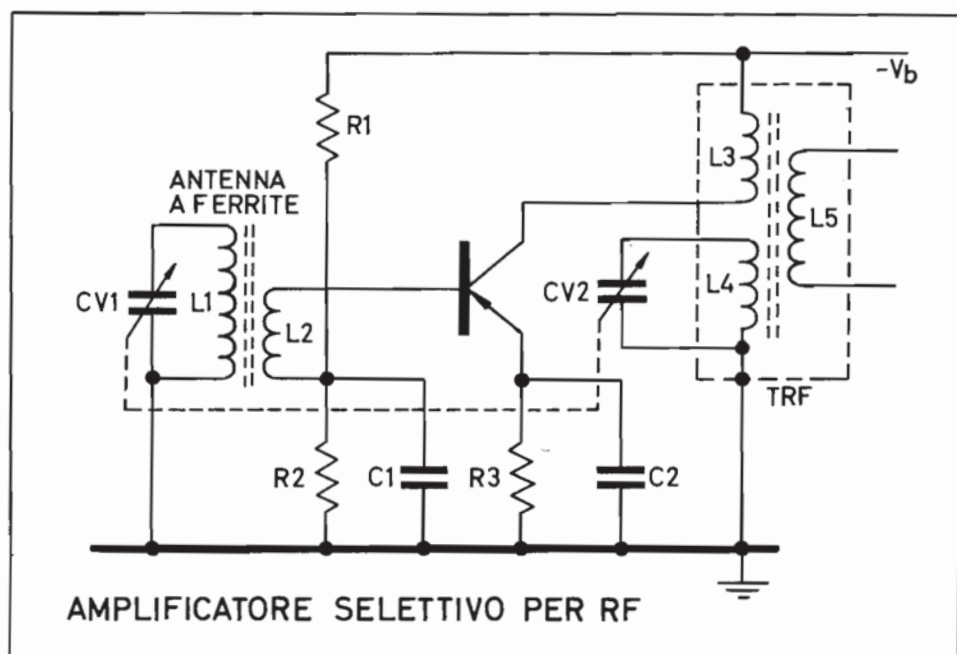


Fig. 2

Il circuito del transistor è simile a quelli già visti studiando gli amplificatori FI: la connessione usata è quella ad emettitore comune; la stabilizzazione in corrente continua è ottenuta con il solito sistema del partitore (R1, R2) e della resistenza d'emettitore (R3).

Il transistor dovrà essere del tipo adatto alla gamma di frequenza che si vuole ricevere, cioè dovrà avere una frequenza di taglio maggiore della massima frequenza della gamma di ricezione. Nel caso di un ricevitore per sole onde medie si dovrà quindi scegliere un transistor con frequenza di taglio maggiore di 1,5 MHz; invece nel caso di un ricevitore per onde medie e corte si dovrà scegliere un transistor con frequenza di taglio maggiore di 20 MHz.

Lo stadio amplificatore RF si distingue dagli stadi FI soprattutto per la presenza dei circuiti risonanti a frequenza variabile.

Il circuito risonante d'entrata è costituito dal condensatore variabile CV1 e dalla bobina L1 avvolta su un bastoncino di FERRITE (la ferrite è un materiale magnetico di tipo ceramico, che ha la proprietà di non essere buon conduttore della corrente elettrica e quindi risulta particolarmente adatto a funzionare come nucleo in trasformatori RF).

Il bastoncino di ferrite forma con la bobina L1 un tipo di antenna largamente impiegato nei ricevitori a transistori. Infatti se il bastoncino di ferrite si trova in un campo elettromagnetico, quale quello generato nello spazio dall'antenna di un trasmettitore, a causa della sua alta *permeabilità magnetica* offrirà una bassa riluttanza alle linee di flusso magnetico, perciò il flusso magnetico si troverà addensato all'interno della bobina L1 avvolta sullo stesso bastoncino.

La maggiore densità del flusso magnetico, ottenuta con l'impiego del nucleo di ferrite, determina una maggior tensione a radiofrequenza ai capi di L1, e si ottiene così lo stesso effetto di un'antenna esterna di conveniente lunghezza.

L'antenna a ferrite in realtà è meno efficiente di una classica antenna a filo conduttore, ma ha il vantaggio di essere meno sensibile ai disturbi provenienti dai motori ed in generale da tutti gli apparecchi che producono scintille elettriche.

Un'altra caratteristica dell'antenna a ferrite è quella di essere *direttiva*: cioè l'antenna funziona bene quando è disposta nella stessa direzione delle linee di flusso; perciò, essendo orizzontali le linee del flusso

magnetico delle radioonde emesse dai trasmettitori, anche le antenne a ferrite dei ricevitori debbono essere orizzontali ed orientate per la massima intensità del segnale ricevuto.

Ritornando ad esaminare lo schema della *fig. 2* osserviamo che l'entrata del transistor è accoppiata al circuito risonante CV1 L1 mediante l'avvolgimento L2. Questo accoppiamento è del tipo a trasformatore, ed è richiesto per poter adattare la resistenza dinamica del circuito risonante (che in genere è abbastanza alta) alla bassa resistenza d'entrata dello stadio amplificatore.

Il trasformatore TRF, che si trova dopo il transistor, serve per l'accoppiamento fra l'uscita dello stadio amplificatore RF e l'entrata dello stadio successivo. Gli avvolgimenti L3 e L4, che attualmente risultano isolati fra loro, in origine erano stati concepiti come parti di un medesimo avvolgimento munito di una presa intermedia. Il condensatore variabile CV2 doveva essere collegato agli estremi di questo avvolgimento in modo simile al condensatore C_p del trasformatore TFI della *fig. 1-b*; il circuito di collettore a sua volta doveva essere collegato alla presa intermedia. Con questo sistema era possibile ridurre la capacità del condensatore variabile d'accordo CV2, aumentando convenientemente il numero di spire dell'avvolgimento; però si rendeva anche necessaria la presenza dell'avvolgimento L5 per poter adattare la resistenza dinamica del circuito risonante all'entrata del circuito successivo. In questo trasformatore gli avvolgimenti L3 e L4 formavano il primario, che comprendeva un circuito risonante accordabile sulla frequenza del circuito risonante d'entrata CV1 L1; l'avvolgimento L5 formava invece il secondario.

La soluzione adottata nel circuito della *fig. 2* si distingue da quella ora descritta soltanto per il fatto che i due avvolgimenti del primario sono fra loro separati, pur restando accoppiati induttivamente. In questo modo si ha il vantaggio di poter collegare a massa un estremo dell'avvolgimento L4 ed un'armatura del condensatore variabile CV2. Ciò è utile perchè CV2, insieme a CV1, fa parte di un condensatore variabile a diverse sezioni, il quale in genere ha tutte le armature elettricamente e meccanicamente collegate fra loro, ed esse vanno collegate tutte a massa.

Nei radioricevitori non sempre si trova lo stadio amplificatore RF; spesso anzi immediatamente dopo il circuito d'entrata a frequenza

variabile si trova un circuito veramente essenziale per la conversione di frequenza, cioè il CONVERTITORE.

Il convertitore è formato da uno stadio oscillatore, detto OSCILLATORE LOCALE, e da un particolare amplificatore RF, detto MISCELATORE, nel quale avviene il battimento fra la frequenza generata dall'oscillatore locale e la frequenza del segnale in arrivo dal circuito d'antenna.

Il principio della conversione di frequenza è ancora lo stesso già studiato nella *Teorica 36°*; cambiano invece i relativi circuiti usando i transistori al posto delle valvole.

Nella *fig. 3-a* è riportato lo schema di un convertitore a transistori con oscillatore (TR2) separato dal miscelatore (TR1)

Il circuito del miscelatore è simile a quello dell'amplificatore selettivo RF considerato in precedenza. Al posto del trasformatore TRF con circuito selettivo a frequenza variabile si trova ora il trasformatore di frequenza intermedia TFI, cioè un trasformatore con circuito selettivo a frequenza fissa. Il condensatore C2 serve ad accoppiare l'uscita dell'oscillatore all'emettitore del transistor TR1, cioè all'entrata del miscelatore. Per tutto il resto, a parte i valori dei componenti (che però non sono riportati), si trova che il circuito del transistor TR1 è uguale a quello della *fig. 2*.

Il circuito dell'oscillatore locale (TR2) si distingue dagli amplificatori studiati finora per l'accoppiamento fra l'uscita e l'entrata del transistor, e per il fatto che lo stesso transistor si presenta nella connessione *a base comune*. L'accoppiamento avviene per mezzo della bobina BO (Bobina Oscillatore) ed il segnale retrocesso viene applicato all'emettitore in modo che attraverso processi di reazione positiva si inneschino le oscillazioni.

Queste oscillazioni generate dall'oscillatore locale sono usate per la conversione di frequenza (*Teorica 36°, paragrafo 1.1*).

La bobina BO è simile alla bobina TRF presente nell'amplificatore RF della *fig. 2*: essa però ha in più un avvolgimento, che viene inserito nel circuito d'emettitore e serve a determinare l'accoppiamento fra l'uscita e l'entrata di TR2.

La frequenza generata dall'oscillatore locale dipende dal condensatore variabile CV2, il quale viene comandato manualmente mediante lo stesso asse del condensatore variabile di sintonia (CV1).

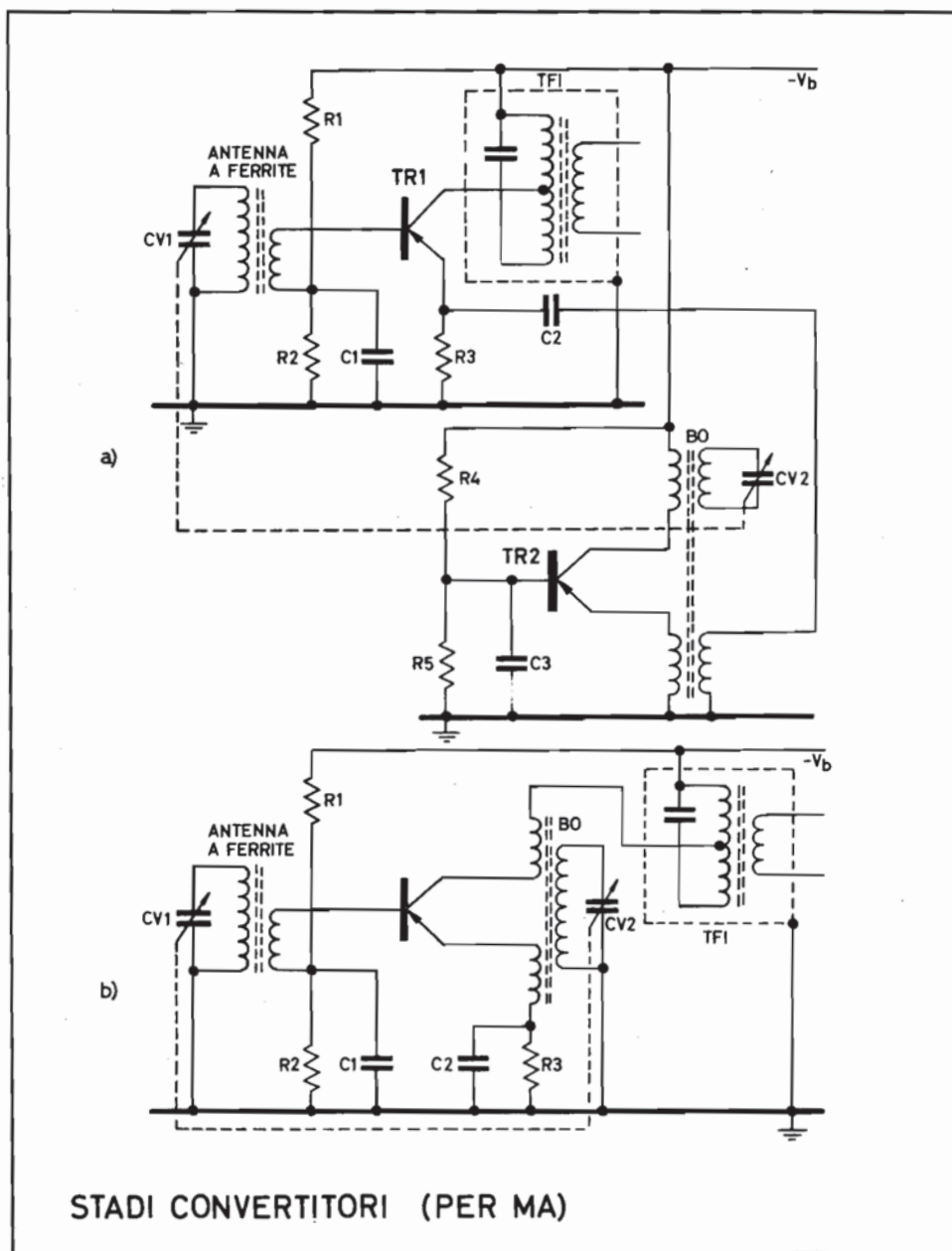


Fig. 3

Nella *fig. 3-b* si trova lo schema di un altro convertitore, largamente usato nei radioricevitori per MA. Qui un solo transistor funziona da miscelatore e da oscillatore locale, essendo accoppiata l'uscita del miscelatore con l'entrata dello stesso mediante la bobina BO. Come miscelatore il transistor si trova collegato nella ormai notissima connessione *ad emettitore comune*; peraltro, come oscillatore lo stesso transistor si trova collegato nella connessione *a base comune*. L'uso della connessione ad emettitore comune per la funzione di miscelatore e di quella a base comune per la funzione di oscillatore consente ad un solo transistor di svolgere contemporaneamente le due funzioni senza che si producano reciproche interferenze.

I convertitori di questo tipo sono detti AUTODINE, od anche CONVERTITORI AUTOOSCILLANTI, mentre quelli del tipo precedente, con oscillatore separato, sono indicati con il nome classico di SUPERETERODINE.

L'autodina presenta un notevole vantaggio rispetto alla supereterodina, poiché fornisce praticamente le stesse prestazioni e consente di risparmiare un transistor.

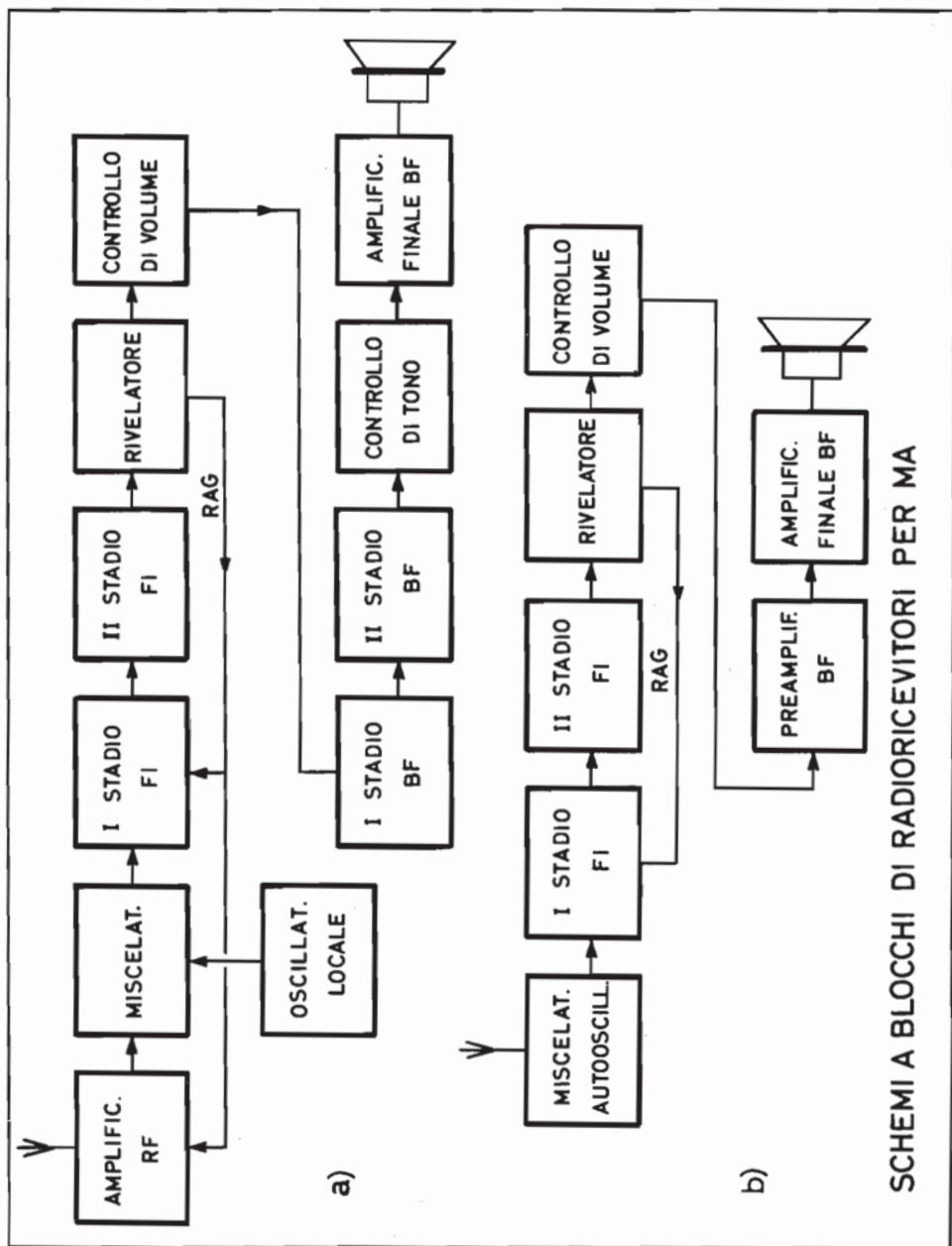
2. - RADIORICEVITORI PER MA

Terminata la rassegna dei principali circuiti RF ed avendo già esaminato in precedenza i circuiti BF (*Transistori 8^e*) ed i circuiti rivelatori (*Transistori 4^e*), abbiamo ormai a disposizione tutti gli elementi necessari per un rapido esame della composizione dei radioricevitori a transistori per modulazione d'ampiezza (MA).

Nella *fig. 4-a* è rappresentata la successione degli stadi di un tipico ricevitore supereterodina, seguendo il percorso del segnale dall'antenna all'altoparlante.

Il segnale captato dall'antenna è amplificato dallo stadio a RF, che pertanto sarà del tipo selettivo a frequenza variabile, dovendo essere sintonizzato sulla frequenza del segnale da ricevere.

Segue lo stadio convertitore, che è costituito dal miscelatore e dall'oscillatore separato. Il convertitore per qualsiasi frequenza del



SCHEMI A BLOCCHI DI RADIORICEVITORI PER MA

Fig. 4

segnale in arrivo fornisce all'uscita sempre la stessa frequenza intermedia, che viene fortemente amplificata dai seguenti stadi FI.

Il segnale amplificato dagli stadi FI viene applicato allo stadio rivelatore, che è costituito da un solo diodo, trattandosi di un ricevitore per MA.

Il rivelatore fornisce alla sua uscita due distinti segnali: uno formato da una tensione alternata che ripete l'andamento dell'onda modulante in sede di trasmissione; l'altro formato da una tensione continua, proporzionale all'intensità del segnale RF captato dall'antenna, cioè tanto maggiore quanto più intenso è il segnale ricevuto.

La tensione alternata (o segnale BF) viene inviata al primo stadio dell'amplificatore di bassa frequenza, attraverso un circuito regolatore di volume.

La tensione continua viene invece riportata all'entrata dell'amplificatore RF e all'entrata del primo stadio FI, in modo da ottenere una *regolazione automatica del guadagno* (RAG).

L'utilità di tale dispositivo è principalmente quella di far sì che i segnali deboli vengano fortemente amplificati, e che i segnali forti vengano scarsamente amplificati per evitare la saturazione degli stadi FI e la conseguente distorsione del segnale BF.

Nei ricevitori per modulazione d'ampiezza i due segnali, quello alternato (BF) e quello continuo (RAG) si possono ottenere con un solo diodo o con due diodi separati, come vedremo in seguito; tuttavia la prima soluzione è più vantaggiosa in quanto consente di risparmiare un diodo, perciò è stata più largamente adottata nei ricevitori di recente costruzione.

I circuiti di bassa frequenza del ricevitore della *fig. 4-a* sono costituiti da due stadi preamplificatori (I stadio BF e II stadio BF), da un controllo di tono e da uno stadio finale che, come si è già visto nella *Transistori 8°* (*paragrafo 1.2*), è spesso costituito da due transistori in controfase.

L'apparecchio ora considerato è del tipo portatile più largamente dimensionato, e quindi può presentare un certo ingombro, che si può ridurre ulteriormente rinunciando a certi circuiti non strettamente indispensabili.

Nella *fig. 4-b* si trova lo schema a blocchi di un altro ricevitore portatile, alquanto ridotto rispetto al tipo precedente.

Nella *fig. 5* si può vedere l'illustrazione dello stesso ricevitore.

Si tratta di un apparecchio dotato di un convertitore autodina, cioè un convertitore autooscillante del tipo visto in precedenza (*fig. 3-b*). Notiamo per inciso che gli apparecchi di questo genere sono detti talvolta *supereterodine*, benché abbiano il convertitore autodina; con quel nome infatti si suole indicare genericamente gli apparecchi a conversione di frequenza, sia che si usi un convertitore supereterodina, sia che si usi un convertitore autodina.

Confrontando i due schemi a blocchi della *fig. 4* si nota che nel secondo, oltre all'impiego di un solo transistor per la conversione di frequenza, si trova un solo preamplificatore BF e manca il controllo di

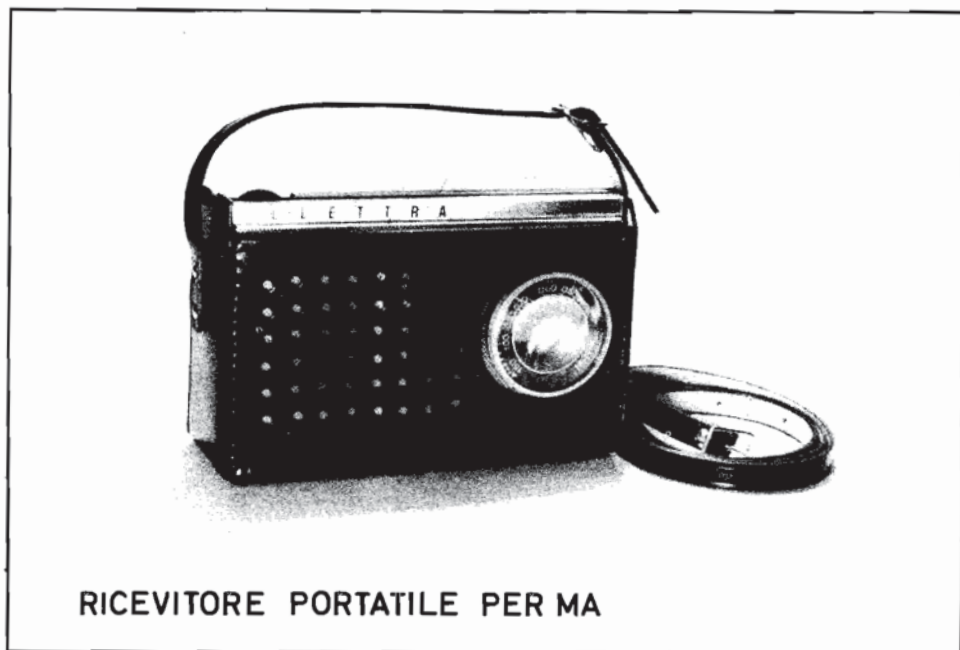


Fig. 5

tono; tutto ciò comporta una diminuzione del numero dei componenti ed una conseguente riduzione d'ingombro dell'apparecchio.

Nella *fig. 6* è riportato lo schema elettrico del ricevitore presentato nella *fig. 5*, cioè si trova rappresentata la parte ricevente vera e propria dell'apparecchio, essendo esclusi i circuiti di bassa frequenza, che sono già stati esaminati in generale ed in vari casi particolari nella *Transistori 8°*.

Il circuito d'entrata, il convertitore (TR1) e gli stadi di frequenza intermedia (TR2 e TR3) sono praticamente gli stessi riportati rispettivamente nella *fig. 2* e nella *fig. 1-b*.

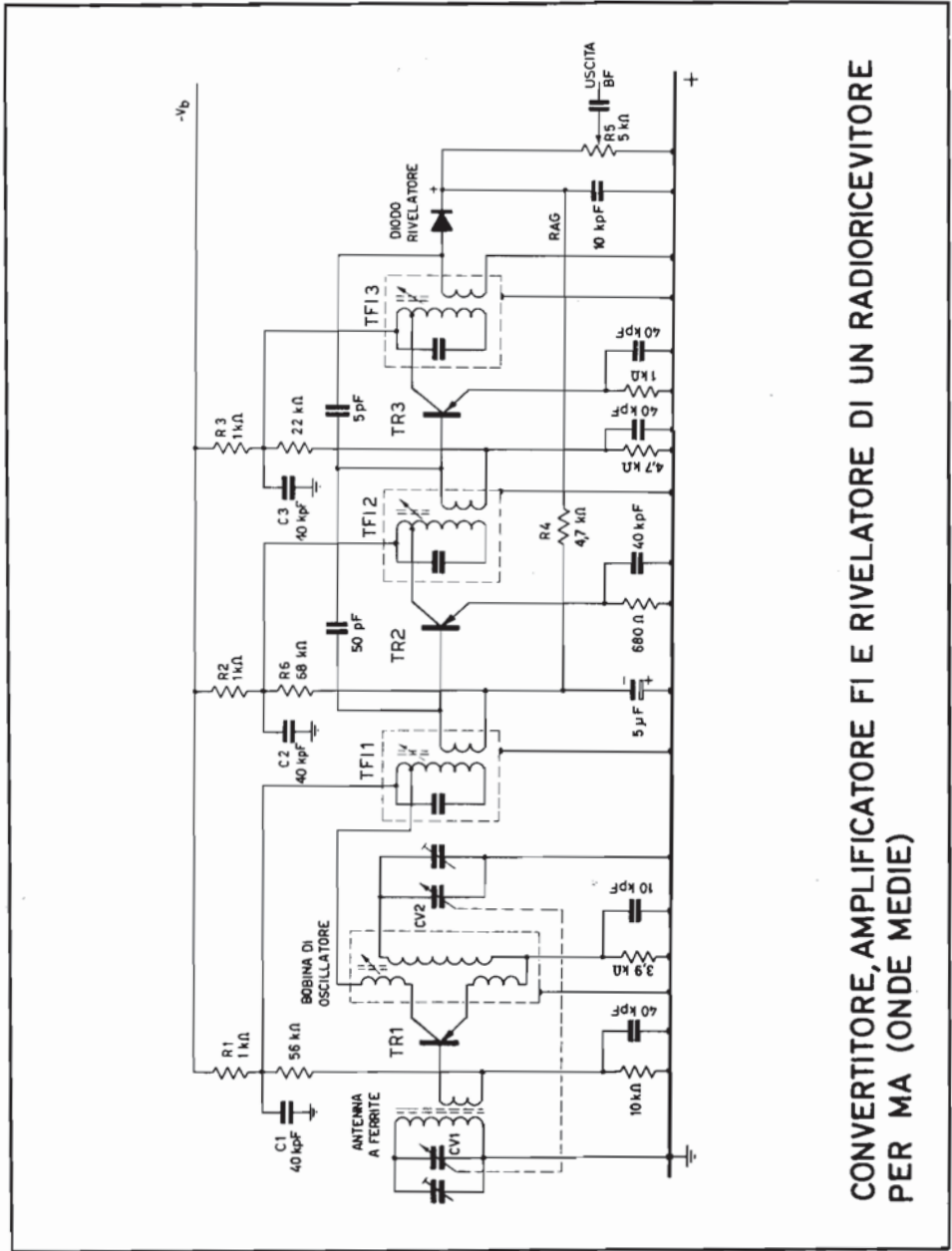
Di nuovo si nota la presenza dei gruppi R1 C1, R2 C2 e R3 C3, inseriti nei circuiti d'alimentazione dei transistori per assicurare il disaccoppiamento fra gli stadi dell'apparecchio lungo la stessa rete d'alimentazione. Un solo diodo provvede alla rivelazione del segnale di bassa frequenza (BF) ed a fornire il segnale continuo per la regolazione automatica del guadagno (RAG). Il segnale continuo viene applicato all'entrata del primo stadio FI dopo aver attraversato il resistore R4.

La resistenza complessiva R4 + R5 (R5 è la resistenza massima del potenziometro usato come controllo di volume) e la resistenza complessiva R2 + R6 formano il partitore destinato alla stabilizzazione in corrente continua del primo stadio di frequenza intermedia (TR2). Gli altri partitori per la stabilizzazione dei transistori TR1 e TR3 si notano facilmente a prima vista guardando lo schema.

Nella *fig. 7* si trova lo schema della parte ricevente di un apparecchio a modulazione d'ampiezza per onde medie (M) e lunghe (L), adatto per essere installato sulle autovetture. Il circuito di questo apparecchio è alquanto diverso dal precedente, benché si impieghi lo stesso numero di transistori.

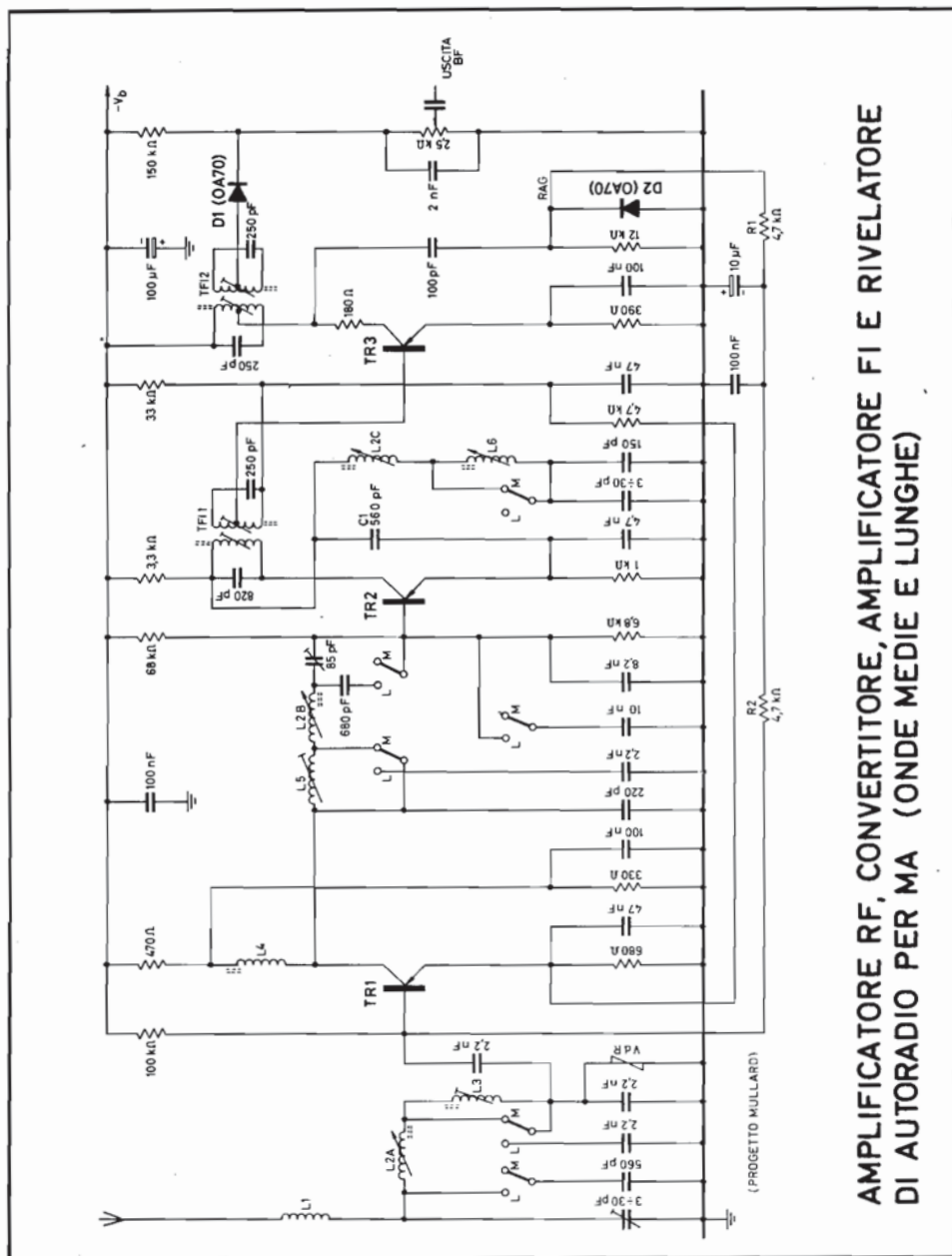
Il circuito d'entrata (antenna e sintonia) è costituito da un gruppo a permeabilità variabile, originariamente progettato per un ricevitore a valvole. Ciò dimostra che un gruppo progettato specificatamente per ricevitori a transistori potrà essere costruito in dimensioni ridotte, ma sotto l'aspetto circuitale è praticamente uguale a quelli in uso nei ricevitori a valvole.

Dopo il circuito d'entrata si trova un amplificatore selettivo per RF, formato dal circuito del transistor TR1. Si tratta di un amplificatore



CONVERTITORE, AMPLIFICATORE FI E RIVELATORE DI UN RADIORICEVITORE PER MA (ONDE MEDIE)

Fig. 6



AMPLIFICATORE RF, CONVERTITORE, AMPLIFICATORE FI E RIVELATORE
DI AUTORADIO PER MA (ONDE MEDIE E LUNGHE)

Fig. 7

ad emettitore comune, avente come carico la bobina L4 al posto della solita resistenza di collettore.

Fra l'entrata dell'amplificatore e la massa si trova un *resistore VdR* (Voltage dependent Resistor): è questo un resistore di tipo particolare, la cui resistenza diminuisce quando la tensione applicata ai suoi terminali supera un certo valore. Esso viene impiegato per proteggere il transistor TR1 dalle tensioni elettrostatiche dell'autovettura o da quelle atmosferiche, che potrebbero scaricarsi attraverso l'antenna.

Il convertitore è costituito dal circuito del transistor TR2. Si tratta di un *convertitore autooscillante*, che ha l'uscita accoppiata con l'entrata mediante il condensatore C1 (560 pF), si ha quindi un accoppiamento capacitivo al posto dell'accoppiamento induttivo considerato in precedenza. L'oscillatore così formato appartiene alla categoria degli oscillatori Colpitts studiati nella *Teorica 27** (paragrafo 1.2).

La frequenza intermedia ottenuta all'uscita del convertitore è di 470 kHz. Essa passa attraverso un solo stadio amplificatore (TR3), dopo il quale il diodo D1 provvede alla rivelazione del segnale BF, mentre il diodo D2 provvede a ricavare il segnale continuo per il RAG.

La tensione del regolatore automatico di guadagno viene applicata alla base del transistor TR1 attraverso i resistori R1 e R2; quindi in questo caso l'azione del RAG si svolgerà soltanto sull'amplificatore RF. Trattandosi di un ricevitore per autovetture si richiede il pieno controllo dell'amplificatore RF da parte del RAG, e ciò si può ottenere applicando una tensione raddrizzata di circa 1 V sulla base dello stesso transistor TR1.

Nella prossima lezione completeremo la nostra breve rassegna delle principali applicazioni dei transistori alla radiotecnica.

3. - ESERCITAZIONE PRATICA

Montaggio dell'oscillatore a sfasamento

Proseguendo le esercitazioni sull'impiego del transistor realizzerà ora un oscillatore BF del tipo a sfasamento.

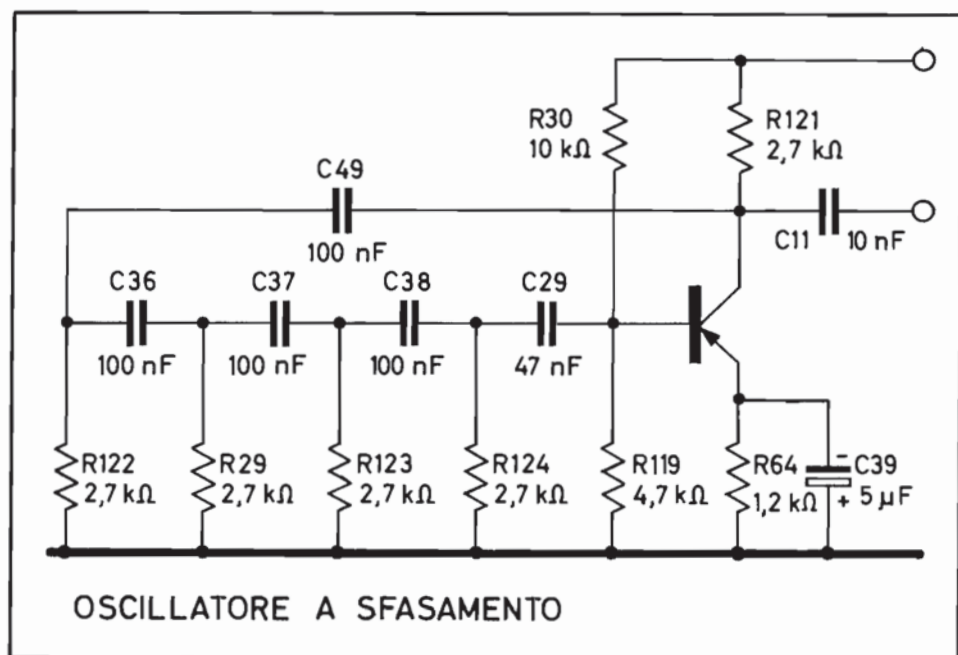


Fig. 8

Nella *fig. 8* è riportato lo schema elettrico del circuito. Come può constatare, questo circuito è analogo a quello utilizzando il tubo elettronico; esso è costituito essenzialmente da uno stadio amplificatore BF e da una rete di reazione posta fra il collettore e la base.

L'amplificatore BF è del tipo ad emettitore comune stabilizzato termicamente ed è del tutto simile a quello realizzato nella *Transistori 7*. La stabilizzazione termica del circuito è ottenuta polarizzando la base tramite il partitore formato dai resistori R30 da 10 kΩ e R119 da 4,7 kΩ ed inserendo il resistore R64 da 1,2 kΩ sull'emettitore.

Il condensatore elettrolitico C39 da 5 μF ha lo scopo di eliminare per la corrente alternata l'effetto di controreazione dovuto al resistore R64, consentendo in tal modo di ottenere dal transistor la massima amplificazione come già si è visto in precedenza.

Il resistore R121 da 2,7 kΩ costituisce il carico sul collettore ed ai

suoi capi si localizza l'oscillazione generata, che viene poi prelevata tramite il condensatore C11 da 10 nF.

La rete di reazione, collegata fra il collettore e la base tramite il condensatore C29 da 47 nF, è formata dai condensatori C49, C36, C37, C38 da 100 nF e dai resistori R122, R29, R123, R124 da 2,7 k Ω : essa ha il compito di fare sì che il segnale d'uscita rinviato all'ingresso del transistor abbia fase tale da determinare l'innescò delle oscillazioni, la cui frequenza dipenderà dai valori dei componenti della rete stessa.

E' opportuno effettuare il montaggio dell'oscillatore a sfasamento *al termine della Pratica 46*.

Per realizzare il nuovo circuito deve preparare il telaio A smontando tutti i collegamenti e componenti del ricevitore realizzato nella precedente lezione.

Iniziando dal transistor dissaldi quindi tutti i componenti e collegamenti posti fra le basette E e F, ad eccezione dei seguenti collegamenti:

— filo di rame stagnato nudo posto fra la linguetta del capocorda CA57 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa D;

— filo isolato rosso posto fra la linguetta del capocorda CA56 della basetta E ed il capocorda della boccola rossa E;

— filo isolato rosso posto fra la linguetta del capocorda CA58 della basetta E e l'occhietto del capocorda CA53 della basetta D.

L'alimentatore non deve essere smontato.

Terminato il lavoro di smontaggio del ricevitore, il telaio A deve presentarsi come indicato nella *fig. 9*.

Mediante una vite da 3 \times 6 mm ed un dado da 3 MA fissi sul lato interno del telaio la basetta C a cinque capicorda; il lato interno della basetta deve essere rivolto verso il bordo del telaio, come indicato nella *fig. 10*.

Può ora iniziare il montaggio elettrico dell'oscillatore disponendo i componenti ed i collegamenti secondo le istruzioni qui di seguito fornite.

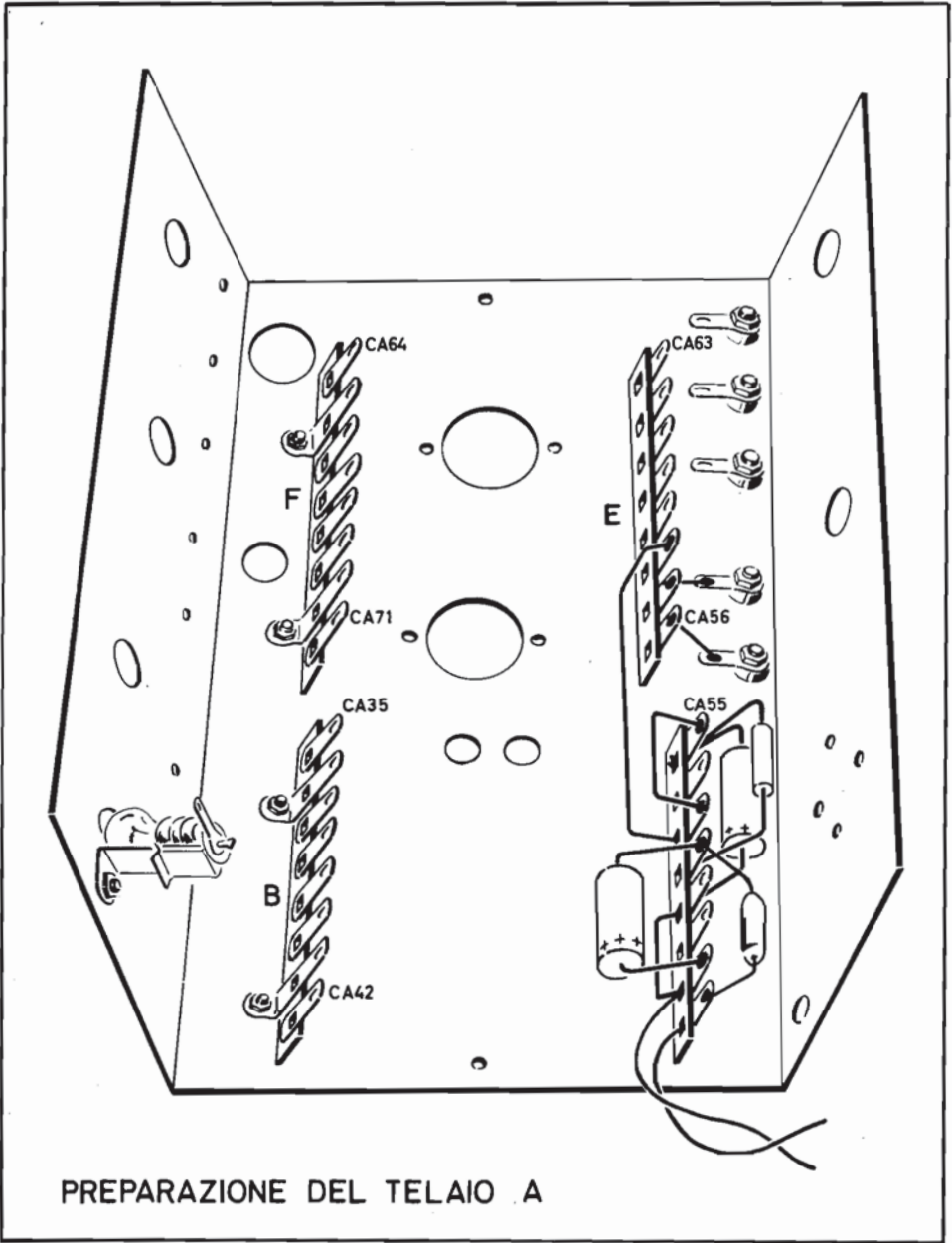


Fig. 9

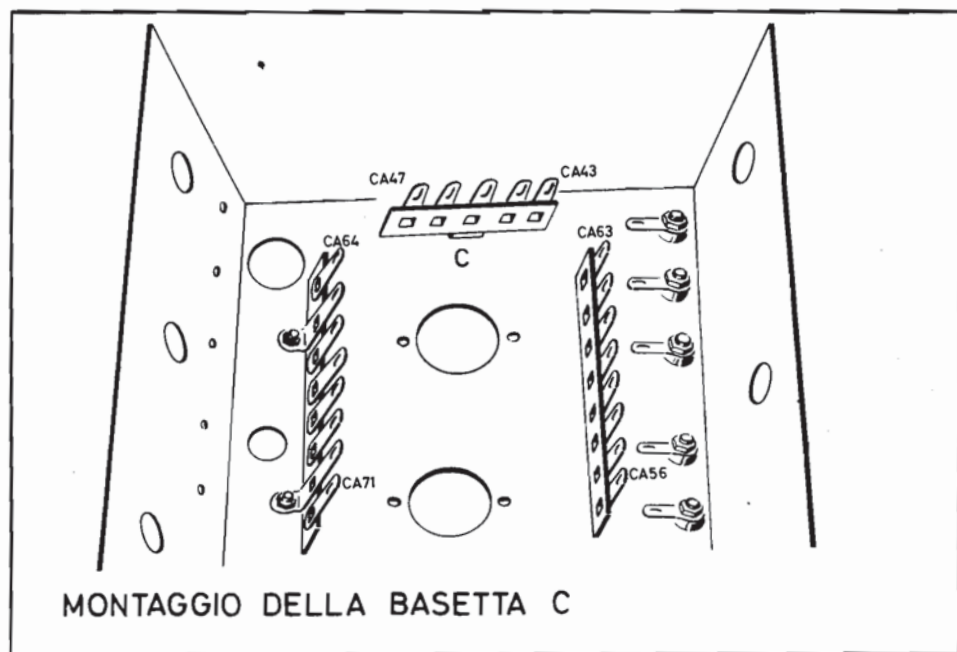


Fig. 10

a) Disponga il condensatore a carta C29 da 47 nF - 630 V_I oppure 1.000 V_I, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA71 e CA67, dal lato esterno della bassetta F; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA71.

b) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 8,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA67 della bassetta F e l'occhiello del capocorda CA60 della bassetta E; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA67, bloccando così anche il terminale del condensatore C29, disposto in precedenza.

c) Disponga il resistore ad impasto R30 da 10 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA60, dal lato esterno della bassetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA60, bloccando così anche il filo isolato giallo disposto in precedenza.

d) Riduca di circa 2,5 cm per parte i terminali del resistore ad impasto R121 da 2,7 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (rosso - violetto - rosso, argento); disponga il resistore fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA59, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA58, bloccando così anche il terminale del resistore R30 disposto in precedenza.

e) Disponga il condensatore elettrolitico C39 da 5 μ F - 50 V fra gli occhielli dei capicorda CA61 e CA63, dal lato esterno della basetta E, con il lato positivo rivolto verso il CA63; per ora non esegua alcuna saldatura.

f) Disponga il resistore ad impasto R64 da 1,2 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - rosso - rosso, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA61 e CA63, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche i terminali del condensatore C39 disposto in precedenza.

g) Tagli uno spezzone di filo di rame stagnato nudo lungo 2 cm circa e ne pieghi ciascun capo ad angolo retto ad una distanza di 5 mm dall'estremità, realizzando così un ponticello.

h) Introduca gli estremi piegati del ponticello nelle linguette dei capicorda CA62 e CA63, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura su entrambi i punti.

i) Riduca i terminali del condensatore a carta C49 da 100 nF - 630 V, toll. 20% in modo che ciascuno di essi sia lungo 2,5 cm. Disponga il condensatore fra l'occhiello del capocorda CA43 della basetta C e l'occhiello del capocorda CA59 della basetta E; è opportuno isolare il terminale del condensatore rivolto verso il CA59, mediante uno spezzone di tubetto isolante da 1 mm di diametro lungo 2 cm; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA59, bloccando così anche il terminale del resistore R121 disposto in precedenza.

j) Disponga il condensatore a carta C36 da 100 nF - 630 V, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA43 e CA47, dal lato interno della basetta C; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA43, bloccando così anche il terminale del condensatore C49 disposto in precedenza.

k) Riduca di circa 2 cm per parte i terminali del resistore ad impasto R122 da 2,7 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (rosso - violetto - rosso, ar-

gento); disponga il resistore fra le linguette dei capicorda CA43 e CA45, dal lato esterno della basetta C; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA43.

l) Disponga il resistore ad impasto R29 da $2,7 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (rosso - violetto - rosso, argento), ricevuto con la 4° Serie di Materiali, fra le linguette dei capicorda CA45 e CA47, dal lato esterno della basetta C; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del resistore R122 disposto in precedenza sulla linguetta del capocorda CA45.

m) Disponga il condensatore a carta C37 da 100 nF - 630 V, toll. 20% fra l'occhiello del capocorda CA47 della basetta C e l'occhiello del capocorda CA66, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA47, bloccando così anche il terminale del condensatore C36 disposto in precedenza.

n) Riduca di circa 2,5 cm per parte i terminali del resistore ad impasto R123 da $2,7 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (rosso - violetto - rosso, argento) e disponga il resistore fra gli occhielli dei capicorda CA65 e CA66, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del condensatore C37 disposto in precedenza nell'occhiello del capocorda CA66.

o) Disponga il resistore ad impasto R119 da $4,7 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (giallo - violetto - rosso, argento) fra le linguette dei capicorda CA65 e CA67, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

p) Disponga il condensatore a carta C38 da 100 nF - 630 V, toll. 20% fra le linguette dei capicorda CA66 e CA71, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA66.

q) Riduca di circa 2,5 cm per parte i terminali del resistore ad impasto R124 da $2,7 \text{ k}\Omega$ - 0,5 W, toll. 10% (rosso - violetto - rosso, argento); disponga il resistore fra le linguette dei capicorda CA70 e CA71, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche il terminale del condensatore C38 precedentemente disposto sul capocorda CA71.

r) Disponga il condensatore a carta C11 da 10 nF - 630 V, toll. 20% fra le linguette dei capicorda CA56 e CA59, dal lato interno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA56.

s) Dissaldi il resistore R50 da $1 \text{ k}\Omega - 1 \text{ W}$, toll. 10% (marrone - nero - rosso, argento) dagli occhielli dei capicorda CA52 e CA55 della basetta D.

t) Disponga il resistore ad impasto R74 da $100 \Omega - 1 \text{ W}$, toll. 10% (marrone - nero - marrone, argento), fra gli occhielli dei capicorda CA52 e CA55, dal lato interno della basetta D; esegua la saldatura su entrambi i punti.

I collegamenti finora realizzati sono visibili nella *fig. 11*.

Può ora eseguire, come al solito, il controllo a freddo del montaggio, al termine del quale collegherà al circuito il transistor.

Nella tabella della *fig. 12* sono riportate le indicazioni necessarie per il controllo ohmmetrico del circuito: segua ordinatamente tutte le istruzioni della tabella e verifichi ogni punto. Se in qualche misura ottiene un valore non compreso tra quelli indicati, consulti la tabella della *fig. 13*, che può servire per individuare l'eventuale componente avariato.

Ultimato il controllo ohmmetrico con risultati positivi, può saldare il transistor sul lato esterno della basetta E.

u) Saldi il terminale di emettitore (E) sulla linguetta del capocorda CA61, saldi il terminale di base (B) sulla linguetta del capocorda CA60, saldi infine il terminale di collettore (C) sulla linguetta del capocorda CA59, bloccando così anche il terminale del condensatore C11 disposto in precedenza.

Termina così la realizzazione pratica dell'oscillatore a sfasamento; nella *fig. 14* è illustrato il montaggio completo del circuito.

Prima di procedere al controllo funzionale dell'oscillatore ora terminato, è opportuno eseguire il controllo sotto tensione. Per effettuare tale controllo è necessario collegare l'alimentatore montato sul telaio A all'avvolgimento secondario a 6,3 V del trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore supereterodina.

Saldi il filo trecciola nero, proveniente dal telaio A, sul cilindretto d'ancoraggio A4 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore.

Saldi il filo trecciola verde, proveniente dal telaio A, sul cilindretto d'ancoraggio A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore.

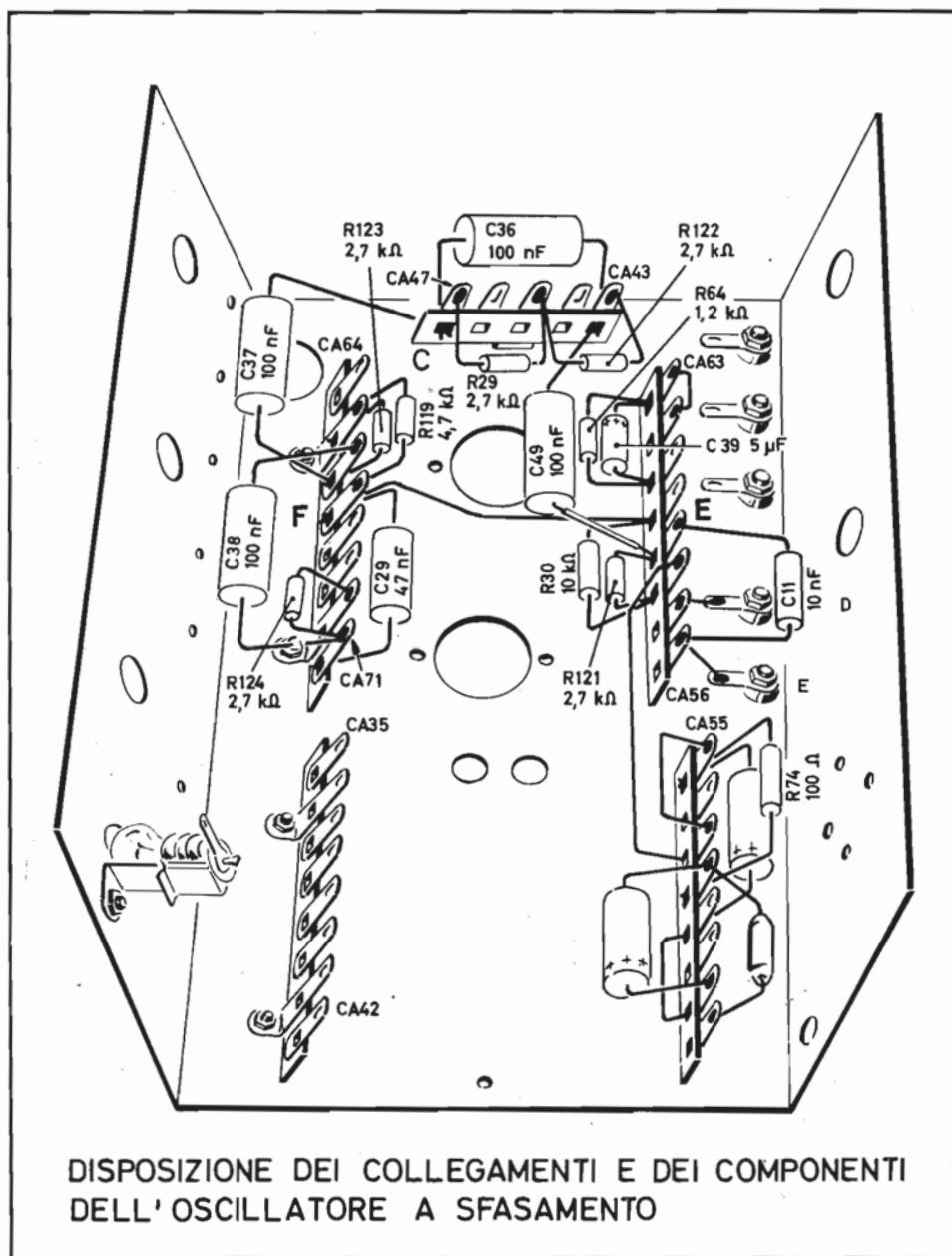


Fig. 11

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DELL'OHMMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V E DA 1.000 Ω/V
1	Fra massa e CA58	R x 1.000	11 kΩ + 17 kΩ
2	Fra massa e CA59	R x 1.000	14 kΩ + 20 kΩ
3	Fra massa e CA60	R x 1.000	4 kΩ + 5,4 kΩ
4	Fra massa e CA61	R x 10	1.000 Ω + 1.400 Ω
5	Fra massa e CA43	R x 1.000	2.300 Ω + 3.100 Ω
6	Fra massa e CA47	R x 1.000	2.300 Ω + 3.100 Ω
7	Fra massa e CA66	R x 1.000	2.300 Ω + 3.100 Ω
8	Fra massa e CA67	R x 1.000	4 kΩ + 5,4 kΩ
9	Fra massa e CA71	R x 1.000	2.300 Ω + 3.100 Ω
10	Fra CA58 e CA52	R x 10	85 Ω + 115 Ω
11	Fra CA59 e CA52	R x 1.000	2.300 Ω + 3.100 Ω
12	Fra CA60 e CA52	R x 1.000	8,5 kΩ + 11,5 kΩ
13	Fra CA61 e CA52	R x 1.000	12 kΩ + 19 kΩ
CONTROLLO A FREDDO DELL'OSCILLATORE A SFASAMENTO			

Fig. 12

PUNTI TRA I QUALI SI E' MISURATO IL VALO- RE IRREGOLARE DI RE- SISTENZA	CAUSA PROBABILE
Tra massa e CA58	<ul style="list-style-type: none"> - Condensatore C1 da 250 μF in corto_circuito - Condensatore C12 da 100 μF in cor_tocircuito - Resistore R30 da 10 kΩ alterato - Resistore R119 da 4,7 kΩ alterato
Tra massa e CA59	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R121 da 2,7 kΩ alterato
Tra massa e CA60	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R119 da 4,7 kΩ alterato
Tra massa e CA61	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R64 da 1,2 kΩ alterato - Condensatore C39 da 5 μF in corto_circuito
Tra massa e CA43	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R122 da 2,7 kΩ alterato - Condensatore C49 da 100 nF in cor_tocircuito - Condensatore C36 da 100 nF in cor_tocircuito
Tra massa e CA47	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R29 da 2,7 kΩ alterato - Condensatore C37 da 100 nF in cor_tocircuito
Tra massa e CA66	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R123 da 2,7 kΩ alterato - Condensatore C38 da 100 nF in cor_tocircuito
Tra massa e CA71	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R124 da 2,7 kΩ alterato - Condensatore C29 da 47 nF in cor_tocircuito
Tra CA58 e CA52	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R74 da 100 Ω alterato
Tra CA59 e CA52	<ul style="list-style-type: none"> - Resistore R121 da 2,7 kΩ alterato
CONSULENZA SULLE IRREGOLARITA' NEL CONTROLLO A FREDDO DELL'OSCILLATORE A SFASAMENTO	

Fig. 13

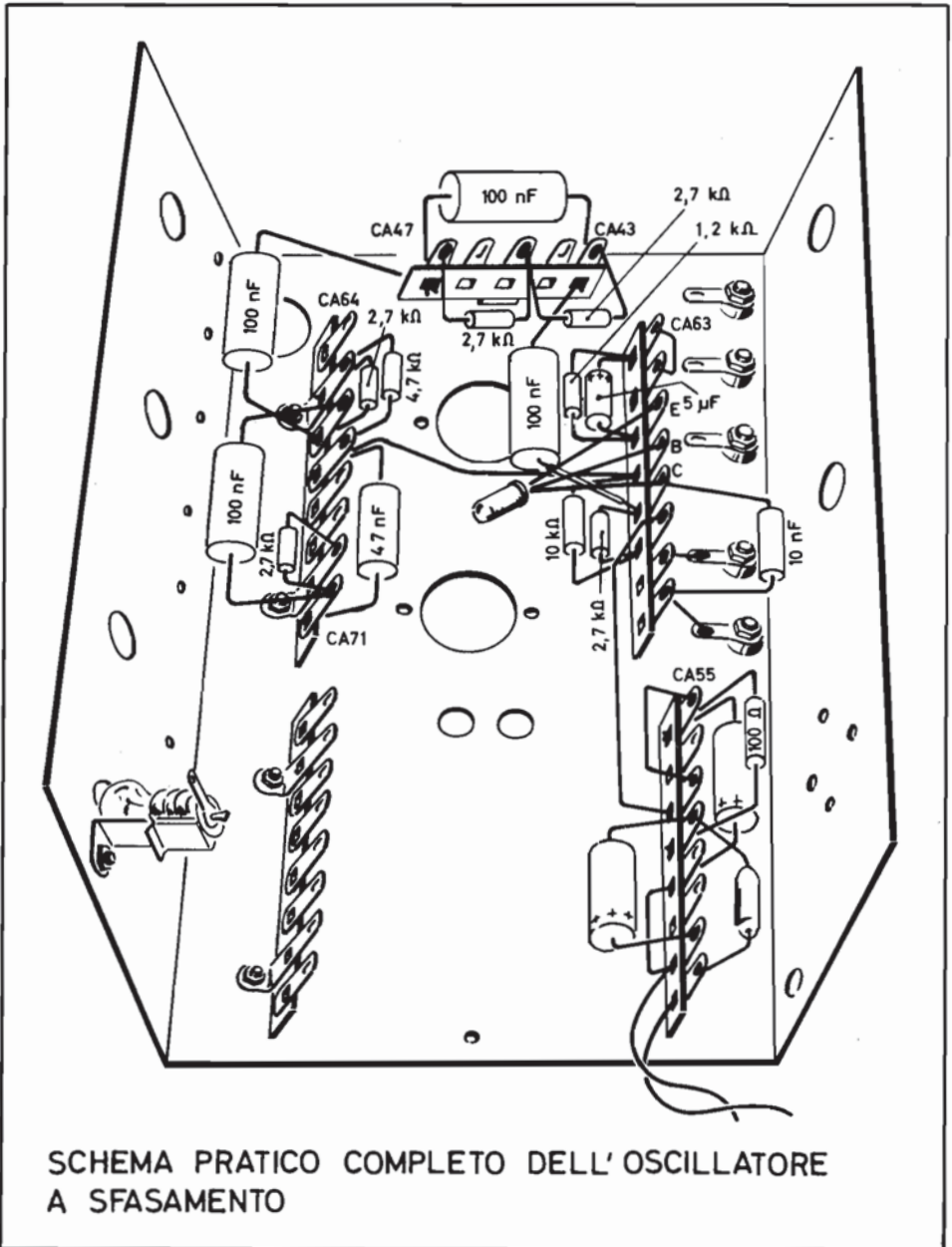


Fig. 14

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V f.s.

Infilì il puntale rosso dell'analizzatore in uno dei fori da 3 mm di diametro del telaio A; porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA52 della basetta D; dia tensione al ricevitore abbassando il tasto del fono: lo strumento deve indicare un valore di tensione compreso fra -5 V CC e $-7,5$ V CC.

Se invece non dovesse misurare alcuna tensione, si accerti in primo luogo che fra massa ed il capocorda CA48 della basetta D vi sia la tensione da raddrizzare di valore compreso fra 5 V CA e 7 V CA.

Se questo controllo è risultato regolare verifichi che il diodo OA81 non sia avariato e che i condensatori di filtro C12 da 100 μ F e C1 da 250 μ F non siano in cortocircuito.

In particolare se il condensatore C12 ha la custodia priva di rivestimento isolante controlli che questa non sia venuta accidentalmente a contatto con il telaio.

Non riscontrando alcuna irregolarità dalla misura della tensione fornita dall'alimentatore, prosegua il controllo sotto tensione del circuito seguendo le indicazioni fornite nella tabella della *fig. 15*.

Terminato il controllo sotto tensione dell'oscillatore spenga il ricevitore abbassando il tasto I prima di passare ad eseguire il controllo funzionale.

Il controllo funzionale dell'oscillatore ora realizzato è analogo a quelli già eseguiti più volte per gli oscillatori montati nelle precedenti lezioni pratiche.

Esso consiste nell'applicare, tramite il cavetto schermato, il segnale emesso dall'oscillatore all'entrata degli amplificatori BF montati sul telaio del ricevitore e nel constatare se viene riprodotta la nota dall'altoparlante.

Saldi quindi il conduttore interno del cavetto schermato munito all'estremità opposta di banane, già utilizzato nelle precedenti lezioni, sulla linguetta del capocorda CA50 della basetta N montata sul ricevitore.

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DEL VOLTMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 1.000 Ω/V
1	Fra CA59 (-) e massa (+)	10 V CC	2,2 V CC + 3,5 V CC	2 V CC + 3 V CC
2	Fra CA60 (-) e massa (+)	10 V CC	1,4 V CC + 2,2 V CC	1,2 V CC + 1,9 V CC
3	Fra CA61 (-) e massa (+)	10 V CC	1,5 V CC + 2,6 V CC	1,3 V CC + 2,2 V CC
CONTROLLO SOTTO TENSIONE DELL'OSCILLATORE A SFASAMENTO				

Fig. 15

Saldi la calza schermante del cavetto sulla linguetta del capocorda CA51 della stessa basetta.

Innesti la banana rossa del cavetto schermato, ora collegato alla basetta N, nella boccia rossa E del telaio A; infili la banana nera nella boccia rossa D dello stesso telaio.

I collegamenti ora eseguiti sono illustrati nella *fig. 16*.

Disponga nuovamente il gruppo a tastiera del ricevitore sulla posizione fono, abbassando il relativo tasto.

Disinserisca il tasto S della pulsantiera, collegando in tal modo in parallelo tra loro gli ingressi dei due amplificatori.

Ruoti a circa metà corsa il potenziometro regolatore di volume del ricevitore; dopo alcuni secondi deve udire dagli altoparlanti il fischio dovuto al segnale generato dall'oscillatore a sfasamento.

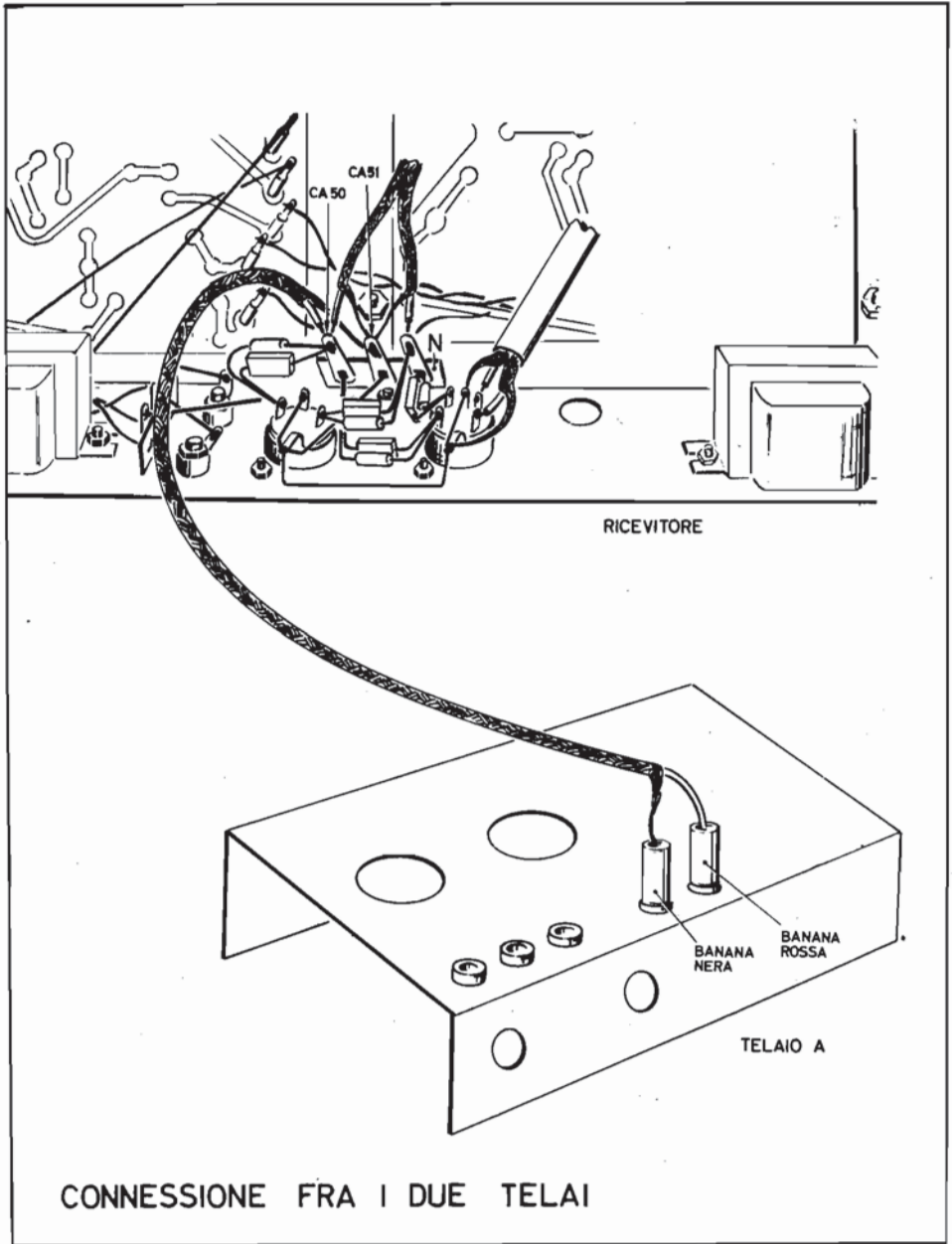


Fig. 16

Non udendo il segnale dagli altoparlanti, pur ruotando da un estremo all'altro il potenziometro del volume, deve accertarsi in primo luogo che gli amplificatori BF siano funzionanti.

Questa prova può essere eseguita facilmente collegando il cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato, disposto come generatore BF, ai capicorda CA50 e CA51 della basetta N; se gli amplificatori sono efficienti deve udire la nota dagli altoparlanti.

Se invece non ode alcun suono ripeterà le prove di collaudo degli amplificatori.

Ottenuto esito positivo dal controllo funzionale dei due amplificatori, il mancato funzionamento si dovrà attribuire unicamente all'oscillatore a sfasamento. Ripeterà in tal caso con maggior cura il controllo sotto tensione del circuito e verificherà che il transistor sia ancora efficiente, eseguendo le prove indicate nella *Transistori 5°*.

Una causa del mancato funzionamento dell'oscillatore a sfasamento può anche essere dovuta al transistor in Suo possesso, se esso ha un coefficiente β inferiore a 30. In tal caso provi a collegare tra i capicorda CA65 e CA67 della basetta F un resistore da 47 k Ω in parallelo al resistore R19 da 4,7 k Ω collegato in precedenza fra questi capicorda.

Ultimato il collaudo dell'oscillatore spenga l'amplificatore BF montato sul telaio del ricevitore.

Dissaldi dai cilindretti d'ancoraggio A4 ed A5 del circuito stampato dell'alimentatore del ricevitore i fili trecciola nero e verde provenienti dal telaio A.

Dissaldi dalle linguette dei capicorda CA50 e CA51 della basetta N il cavetto schermato.

Nella prossima lezione monterà un oscillatore RF funzionante sulle OM e modulato con l'oscillatore BF.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 9*

1. - Quando un amplificatore è selettivo?
 2. - Il valore di frequenza intermedia dei ricevitori MA a transistori è diverso da quello dei ricevitori a valvole?
 3. - I transistori per FI sono gli stessi usati come preamplificatori BF?
 4. - L'antenna a ferrite ha un rendimento maggiore dell'antenna a filo?
 5. - Il transistore usato come convertitore autooscillante è collegato esclusivamente ad emettitore comune?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 8*

1. - Gli amplificatori a transistori si possono suddividere in amplificatori per correnti continue ed amplificatori per correnti alternate. Gli amplificatori per correnti alternate a loro volta si possono suddividere nei seguenti tipi: preamplificatori per BF, amplificatori finali per BF, amplificatori per FI, amplificatori per RF.
 2. - Con gli amplificatori a transistori si hanno tre forme di guadagno: guadagno di corrente, guadagno di tensione e guadagno di potenza.
 3. - Un amplificatore funziona in classe B quando la corrente di polarizzazione è nulla e la tensione base-emettitore ha un valore tale da far sì che la corrente di collettore circoli soltanto durante un semiperiodo in presenza di qualsiasi segnale.
 4. - Sì, per i transistori di media e grande potenza si richiedono particolari sistemi di raffreddamento ad aria (radiatori di calore).
 5. - Sì, esistono accumulatori ermetici al nichel-cadmio adatti per apparecchi portatili a transistori.
-

(47)

Il transistoro nel primo decennio di vita poté sostituire il tubo elettronico soltanto negli amplificatori BF e nei radioricevitori per onde medie e lunghe, cioè in apparecchi che funzionano a frequenze relativamente basse. In seguito, con il perfezionamento dei metodi di fabbricazione, ed in particolare con la tecnica della diffusione (*Transistori 7°*), fu possibile estendere l'impiego dei transistori ai radioricevitori per onde corte e per modulazione di frequenza, e perfino ai televisori.

Attualmente si trovano in normale produzione di serie transistori progettati per l'uso in stadi amplificatori, oscillatori e convertitori, funzionanti nel campo superiore delle frequenze VHF, fino a 260 MHz.

Ora, prima di terminare la nostra rassegna dei principali circuiti radio, ci occuperemo brevemente dei circuiti VHF, limitandoci ad esaminare quelli usati correntemente nei radioricevitori per MA-MF.

1. - RADIORICEVITORI PER MA-MF

I circuiti MA dei radioricevitori MA-MF sono sostanzialmente uguali a quelli studiati nella lezione precedente; diversi sono invece i circuiti MF, che perciò dovremo esaminare separatamente prima di considerare il ricevitore nel suo insieme.

La *fig. 1* presenta lo schema a blocchi di un ricevitore per modulazione di frequenza.

La successione degli stadi è la stessa dei ricevitori a conversione di frequenza per MA, a transistori ed a valvole: seguendo il percorso del segnale si trovano l'*amplificatore RF*, il *convertitore*, gli *amplificatori FI*, il *rivelatore* e l'*amplificatore BF*.

Nell'*amplificatore RF* il transistoro (TR1 della *fig. 2-a*) è collegato

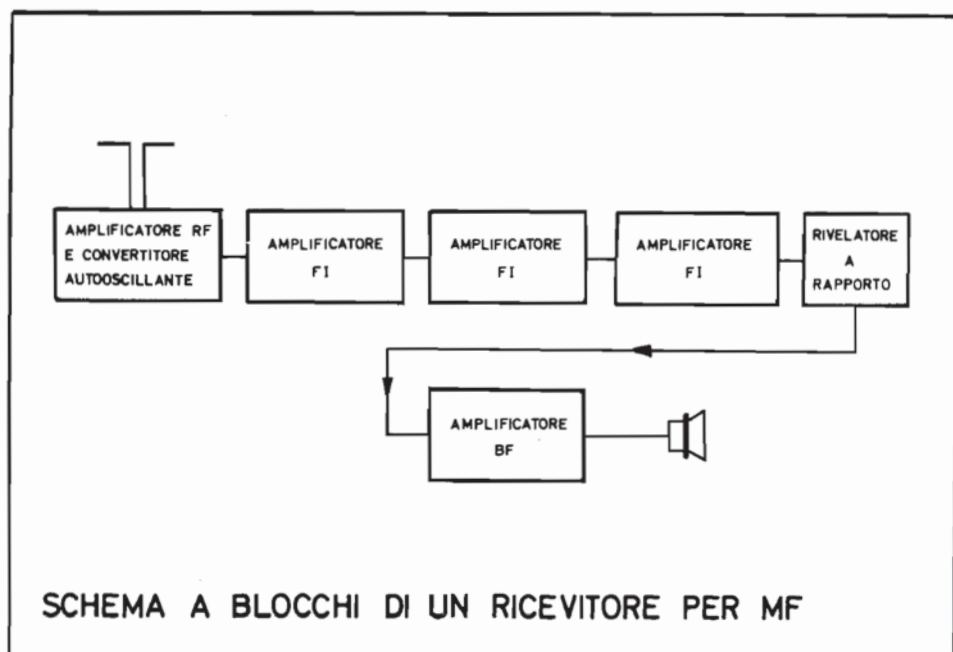


Fig. 1

con base comune. Questo tipo di collegamento, presentato nella *Transistori 6°* (paragrafo 1.2 e paragrafo 1.4) è già stato notato di sfuggita studiando il funzionamento dei convertitori per MA nella lezione precedente; ora però occorre aggiungere qualche osservazione a quanto è già stato detto nella *Transistori 6°*.

L'amplificatore a base comune può diventare vantaggioso rispetto all'amplificatore ad emettitore comune nel campo delle frequenze elevate, perchè ha una *frequenza di taglio* più elevata, e quindi consente di ottenere in definitiva maggiore amplificazione del segnale e più sicura stabilità di funzionamento in qualsiasi condizione.

La connessione a base comune è simile a quella dei tubi elettronici con griglia a massa, in uso negli amplificatori RF dei gruppi MF (*Teorica 41°, paragrafo 1.1*).

L'entrata del segnale si trova fra emettitore e base, poiché i due condensatori da 820 pF presenti nel circuito del transistor TR1 (*fig. 2-a*)

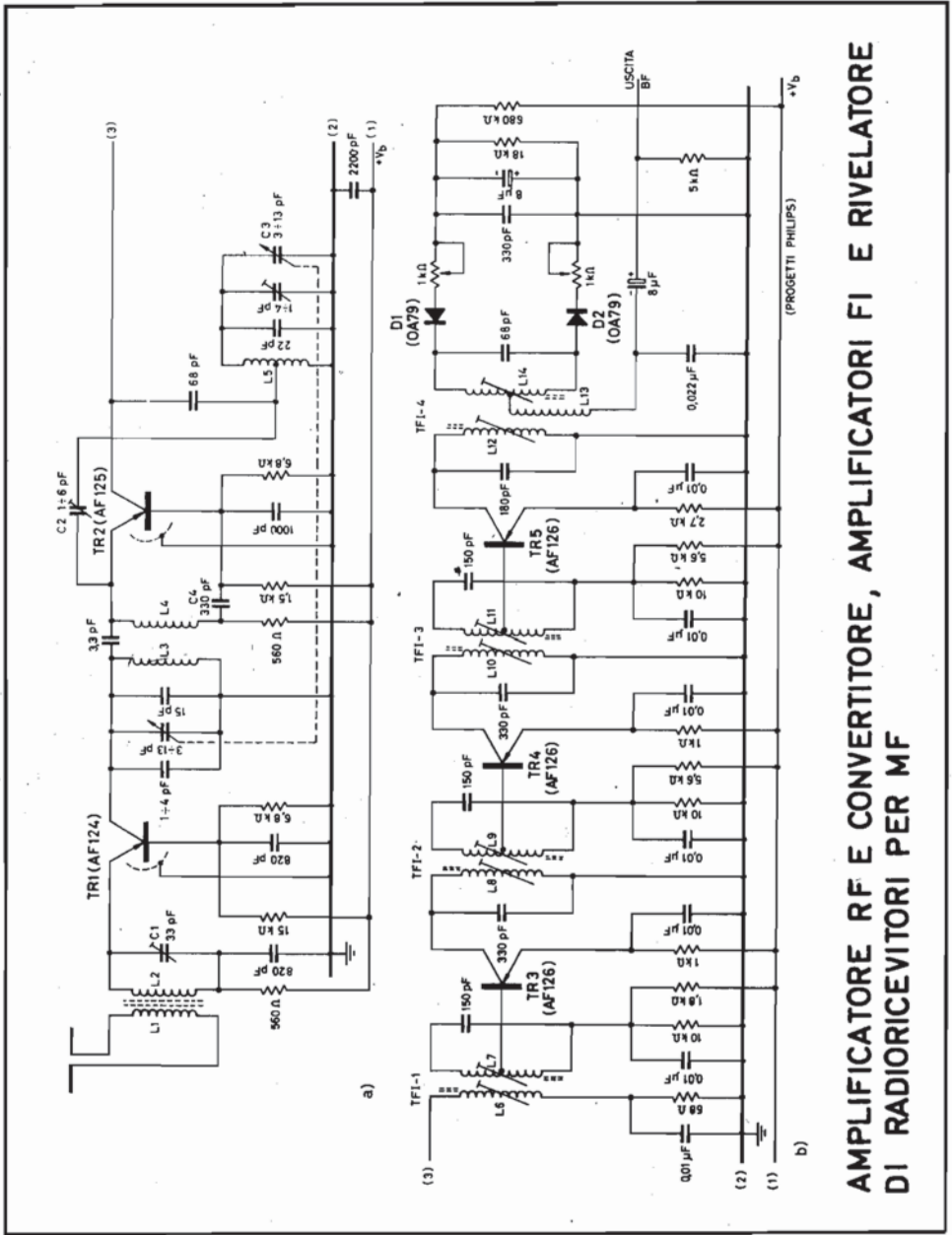


Fig. 2

AMPLIFICATORE RF E CONVERTITORE, AMPLIFICATORI FI E RIVELATORE DI RADIOCEVITORI PER MF

sono un cortocircuito per le elevate frequenze di funzionamento. L'uscita si trova fra collettore e base ai capi della bobina di accordo L3.

L'alimentazione dell'emettitore avviene attraverso la resistenza da 560 Ω e l'avvolgimento L2 del trasformatore d'entrata. La base, che deve mantenersi ad un potenziale compreso fra quello d'emettitore e quello di collettore, viene alimentata con un partitore formato da due resistenze, rispettivamente da 15 k Ω e da 6,8 k Ω . Il collettore è collegato a massa, e quindi al negativo dell'alimentazione, attraverso l'avvolgimento L3 del circuito accordato presente sull'uscita dell'amplificatore.

Il circuito d'entrata L2 C1 è accordato sulla frequenza fissa di 97 MHz mediante il condensatore semifisso C1. Questo circuito è fortemente smorzato dalla bassa impedenza d'entrata del transistor TR1 e dal circuito d'antenna, perciò presenta una grande larghezza di banda passante sufficiente a coprire tutta la gamma della modulazione di frequenza, da 87 MHz a 101 MHz. L'accordo è stato fissato sulla frequenza di 97 MHz, cioè vicino all'estremo superiore della gamma MF, per compensare la minore amplificazione che il transistor presenta alle frequenze più elevate. Con questo accorgimento si ottiene una sensibilità uniforme su tutta la gamma MF.

Il secondo stadio, cioè quello del transistor TR2 (*fig. 2-a*), svolge la doppia funzione di mescolatore ed oscillatore, ossia funziona da *convertitore autooscillante*.

Il transistor TR2 è anch'esso collegato con base comune, come TR1. Con questo collegamento si ottiene una reazione positiva fra l'uscita e l'entrata dello stadio, tramite le capacità interne del transistor. Aggiungendo il condensatore C2 fra l'uscita e l'entrata del medesimo stadio, la reazione positiva aumenta in misura sufficiente a mantenere le oscillazioni.

La frequenza delle oscillazioni è determinata dal circuito risonante formato dall'induttanza L5 e dalla capacità in parallelo alla stessa L5 (capacità regolabile mediante il condensatore variabile C3).

L'induttanza L4 inserita nel circuito d'entrata serve a compensare parzialmente le capacità parassite presenti nello stesso circuito, ed inoltre ha il compito di offrire unitamente alla capacità C4 un passaggio a bassa impedenza per il segnale a frequenza intermedia.

La frequenza intermedia fornita dal convertitore e presente fra il collettore di TR2 e massa (terminali 3 e 2) è fissata al valore di 10,7 MHz.

Per alimentare il circuito della *fig. 2-a* si richiede una tensione V_b di 6 V. In proposito bisogna tener presente che dalla tensione V_b dipende in certa misura la frequenza dell'oscillatore, perciò occorrerebbe mantenere costante questa tensione al valore indicato. In realtà la tensione V_b è soggetta a variazioni a causa della caduta di tensione sulla resistenza interna della batteria, e di conseguenza si possono avere distorsioni del segnale.

Per attenuare queste distorsioni si è provveduto a collegare il transistor TR2 ad una presa intermedia del circuito risonante d'oscillatore, cioè alla presa intermedia dell'induttore L5.

La sezione di frequenza intermedia di un ricevitore per MF in genere comprende tre stadi, con transistori in connessione ad emettitore comune (*fig. 2-b*).

Il circuito degli amplificatori a frequenza intermedia per MF è simile a quello degli amplificatori FI per MA studiati nella lezione precedente; il solo elemento nuovo è costituito dalla presenza di un terzo avvolgimento (L13) nell'ultimo trasformatore a frequenza intermedia.

Questo avvolgimento serve per la rivelazione con il sistema del *rivelatore a rapporto* già esaminato nella *Teorica 40** (paragrafo 2.2).

Lo schema del rivelatore usato nel circuito della *fig. 2-b* è simile a quello riportato nella *fig. 14-b* della *Teorica 40**; si notano soltanto alcune diversità in elementi secondari richiesti per l'impiego dei diodi a cristallo D1 e D2 al posto dei diodi elettronici. In primo luogo si vedono due resistori semifissi da 1 k Ω in serie ai diodi. La regolazione di questi resistori si richiede per compensare eventuali differenze di resistenza dei diodi rivelatori. Quando però vengono utilizzate coppie di diodi appositamente selezionate, al posto dei due resistori semifissi da 1 k Ω di solito si impiegano due resistori fissi da 820 Ω .

I due diodi a cristallo, a differenza dei diodi elettronici, appaiono inoltre polarizzati in senso diretto attraverso una resistenza da 680 k Ω collegata al positivo della batteria. La corrente di polarizzazione in genere è molto debole, avendo un valore di qualche microampere; essa

consente di ottenere anche con deboli segnali in antenna un più elevato rapporto segnale/disturbo.

Fin qui abbiamo esaminato gli aspetti fondamentali per cui si distinguono i circuiti del ricevitore MF da quelli del ricevitore MA; vediamo ora come sia costituito l'insieme del ricevitore MA-MF a transistori.

Nella *fig. 3* è presentato lo schema a blocchi di un ricevitore MA-MF.

L'amplificatore RF ed il convertitore autooscillante MF formano un gruppo costituito da due transistori e riservato esclusivamente per la ricezione MF.

Lo stadio successivo comprende invece un solo transistor, che può funzionare come primo amplificatore a frequenza intermedia per la MF oppure, dopo opportune commutazioni, come convertitore autooscillante per la MA.

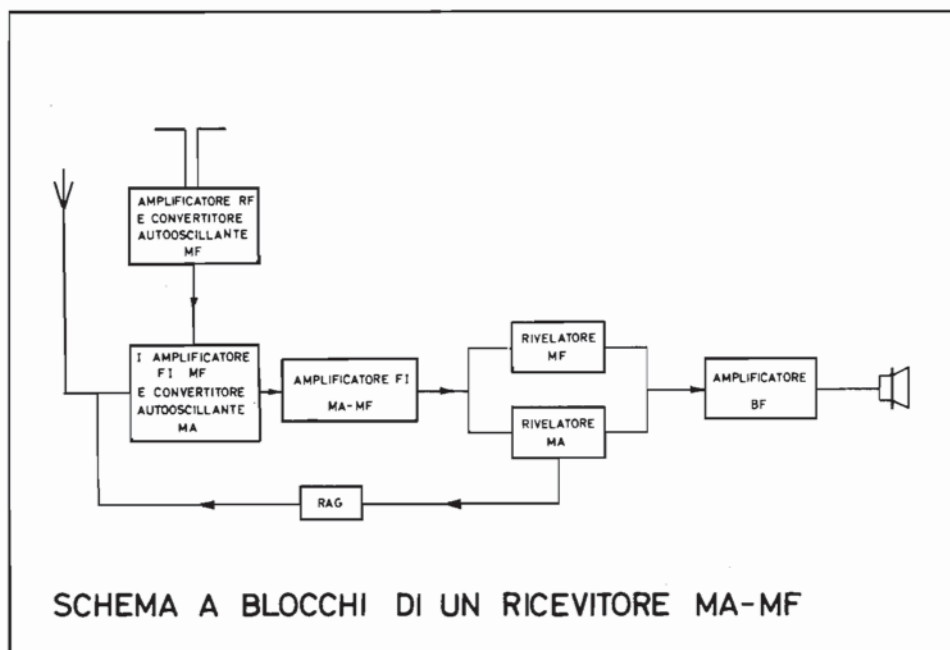
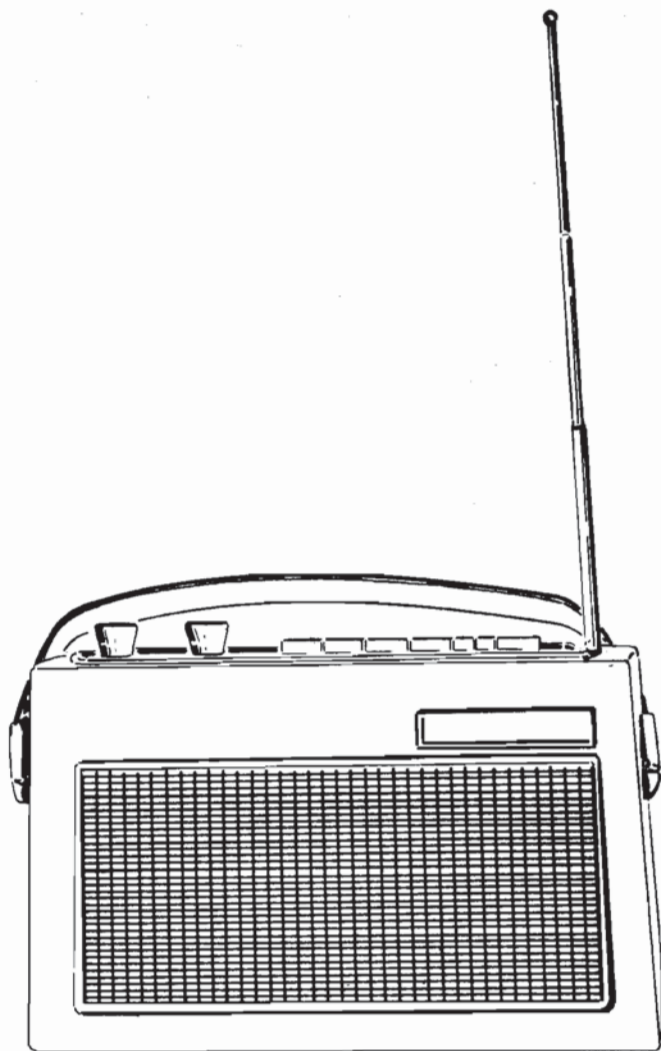


Fig. 3



RICEVITORE PORTATILE MA-MF A TRANSISTORI

Fig. 4

Seguono gli amplificatori a frequenza intermedia per la MA e per la MF, cioè due stadi che possono funzionare sia alla frequenza di 467 kHz di solito usata per la modulazione d'ampiezza, sia alla frequenza di 10,7 MHz usata per la modulazione di frequenza.

Si trovano poi i due rivelatori, uno per la MA e l'altro per la MF, seguiti da un unico amplificatore BF, del tipo descritto nella *Transistori 8°*.

Nella sezione MA, fra l'uscita del rivelatore e l'entrata del ricevitore, di solito si trova un regolatore automatico di guadagno (RAG). Esso viene realizzato mediante un diodo posto in parallelo al circuito d'entrata e polarizzato direttamente con una tensione continua, prelevata all'uscita del rivelatore MA. La resistenza dinamica del diodo varia al variare della tensione di polarizzazione e contemporaneamente varia anche lo smorzamento del circuito d'entrata: alle tensioni più elevate la resistenza dinamica diventa più piccola e lo smorzamento del circuito si fa più forte. In definitiva si ha che ad un segnale d'entrata più intenso corrisponde all'uscita del rivelatore una componente continua più elevata che, applicata al diodo smorzatore del RAG, determina un più accentuato smorzamento del circuito d'entrata, evitando così la saturazione dei transistori in presenza di segnali troppo forti.

Gli apparecchi MA-MF a transistori (*fig. 4*) sono necessariamente un po' più ingombranti degli apparecchi a transistori per sola MA; inoltre sono più costosi e non presentano vantaggi particolari. Per questi motivi la diffusione dei ricevitori MA-MF a transistori è rimasta alquanto limitata.

2. - CONVERTITORI ELEVATORI DA CC A CC

Il transistoro può essere utilizzato vantaggiosamente come oscillatore nei circuiti elevatori di tensione continua per l'alimentazione delle autoradio, soprattutto quando siano in gioco piccole potenze.

Tutti i metodi convenzionali di conversione da CC a CC risultano poco adatti quando la potenza richiesta è dell'ordine del watt; sono poi totalmente inadatti per potenze inferiori al watt.

Con un classico convertitore a vibratore si può ottenere un rendimento del 50% per una potenza di almeno 4 W; per potenze inferiori il rendimento scende rapidamente verso valori molto bassi. Usando invece un convertitore a transistori si possono anche ottenere rendimenti maggiori del 70% con potenze di appena qualche milliwatt.

Un altro vantaggio del convertitore a transistori è costituito dal fatto che esso non contiene parti in movimento meccanico, quindi si possono determinare oscillazioni a frequenze elevate allo scopo di ottenere un migliore spianamento della tensione raddrizzata d'uscita.

Nella *fig. 5* è riportato lo schema di un convertitore elevatore che consente di ottenere una potenza di 3 mW utilizzando come sorgente una batteria da 3 V.

La parte centrale del convertitore elevatore è costituita dal trasformatore T, funzionante in salita, cioè in modo da fornire una ten-

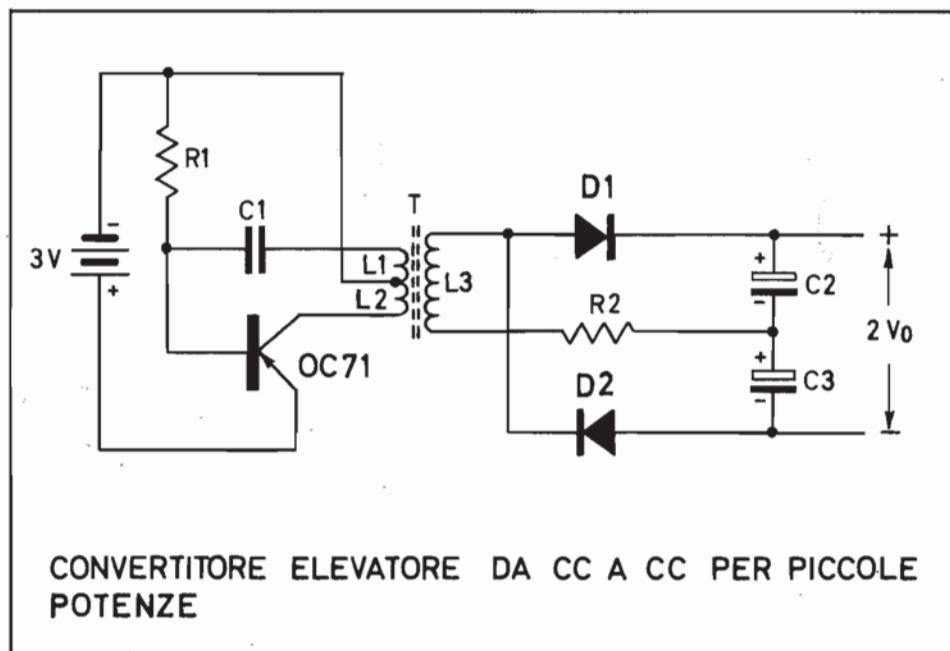


Fig. 5

sione secondaria (ai capi di L3) maggiore della primaria (ai capi di L2).

E' risaputo che un trasformatore non può funzionare in corrente continua, ma richiede la corrente alternata, quindi per elevare la tensione continua della pila con il trasformatore T si dovrà prima convertire da continua ad alternata la tensione applicata al primario.

A questo scopo si usa il circuito del transistor OC71.

Si tratta di un circuito oscillatore, cioè di un amplificatore selettivo nel quale si determinano spontaneamente e si mantengono oscillazioni elettriche. Lo stato oscillatorio è dovuto, come già si è visto nella *Teorica 24**, all'accoppiamento fra l'uscita e l'entrata dell'amplificatore.

Nel caso che stiamo considerando l'accoppiamento fra l'uscita e l'entrata del transistor OC71 avviene tramite la sezione L1 del primario del trasformatore ed attraverso il condensatore C1.

La sezione L2 e la capacità parassita dello stesso avvolgimento formano il circuito risonante che determina la frequenza di funzionamento dell'oscillatore.

La resistenza R1 serve alla polarizzazione del circuito di base.

Ai capi del secondario (L3) si trova dunque una tensione alternata, che potrà essere tanto più elevata quanto minore è il rapporto fra le spire primarie e quelle secondarie.

La tensione alternata può essere raddrizzata con uno dei circuiti descritti nella *Transistori 4**, paragrafo 3.

Quando si voglia raddoppiare la tensione continua d'uscita, V_0 , ottenibile con un dato trasformatore, si dovrà usare come raddrizzatore il duplicatore di tensione riportato nello schema della *fig. 5* e già presentato nella *fig. 7-c* della *Transistori 4**.

Nella *fig. 6* è riportato lo schema di un altro convertitore elevatore da CC a CC per potenze di 10 W ÷ 15 W, fornite da un accumulatore a 12 V.

Il circuito del raddrizzatore è lo stesso già considerato nell'esempio precedente; diverso è invece il circuito dell'oscillatore e cambia il tipo dei transistori usati.

Si tratta di un oscillatore in controfase, in cui si ottiene l'accoppia-

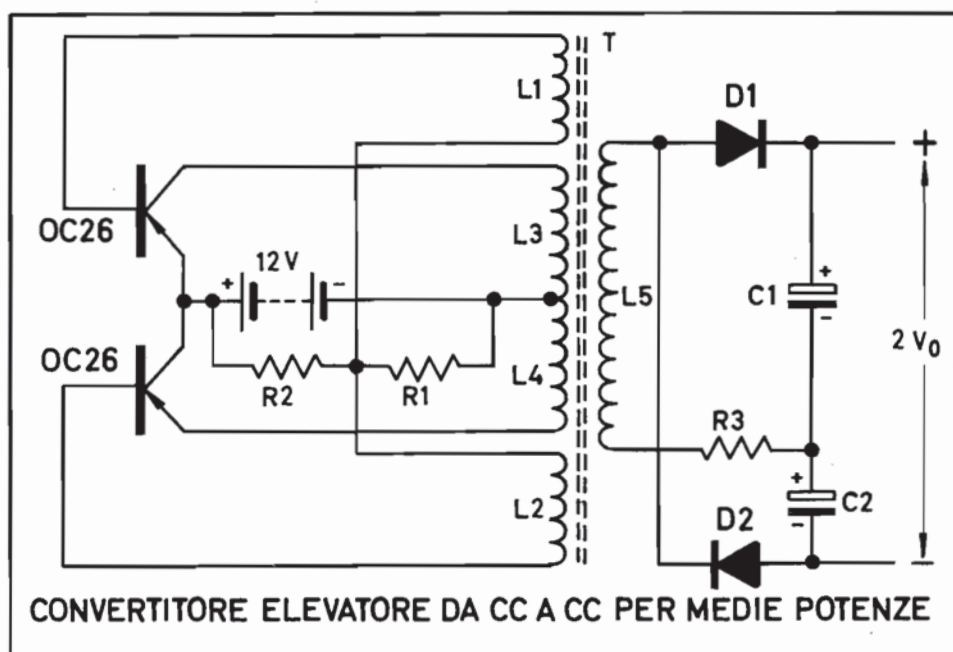


Fig. 6

mento fra l'uscita e l'entrata di ciascun transistor disponendo gli avvolgimenti L1 e L2 sullo stesso nucleo del trasformatore T.

Il partitore R1 - R2 serve a determinare la tensione di polarizzazione delle basi dei transistori.

Nei circuiti di questo tipo occorre assicurare con precisione la simmetria dei due stadi in controfase, perciò bisogna usare coppie di transistori uguali, appositamente selezionate dalla casa costruttrice.

Esistono numerosi altri tipi di convertitori, che si distinguono fra loro in base al circuito dell'oscillatore o del raddrizzatore, in base alla potenza erogabile od alle tensioni d'entrata e d'uscita; ma anche per essi valgono le considerazioni generali fatte esaminando i due precedenti circuiti.

3. - COME EVITARE GUASTI AI TRANSISTORI

Un transistor non si guasta quando si abbia un po' di cura nell'eseguirne il montaggio, e quando si controlli il suo circuito esterno con sufficiente attenzione. Nella grande maggioranza dei casi uno scambio fra collettore e base ha come sola conseguenza un modesto aumento di corrente; però quando disattenzioni di questo genere diventano abituali, si possono determinare guasti che in genere sono irreparabili.

Il tubo elettronico può sopportare per tempi non troppo lunghi tensioni superiori al valore limite di funzionamento senza gravi conseguenze; il transistor invece, quando gli vengono applicate tensioni superiori al valore limite, anche per pochi istanti, può subire danni tali da essere inutilizzabile. Perciò ora, a conclusione di queste lezioni, non sarà superfluo indicare alcune avvertenze che potranno essere utili a chi vorrà applicarsi in montaggi o riparazioni di apparecchi a transistori per conto proprio.

AVVERTENZE

- 1) *Non si eseguano saldature mentre il transistor è sotto tensione.*
- 2) *Si usino saldatori di piccola potenza (inferiore a 50 W). Per il montaggio dei transistori è consigliabile l'impiego di saldatori a bassa tensione, collegati a rete mediante trasformatore.*
- 3) *Si eviti di scambiare per errore i poli della batteria d'alimentazione.*
- 4) *Utilizzando un alimentatore-raddrizzatore al posto della batteria d'alimentazione, si controlli che la tensione di rete non sia soggetta a variazioni superiori al 10% del valore nominale.*
- 5) *Si eviti di mettere a contatto i terminali di un transistor con maglie o tele di filati artificiali (nailon, ecc.), poiché l'elettricità statica che spesso si accumula su tali filati potrebbe scaricarsi attraverso gli elettrodi del transistor, danneggiandoli in modo anche grave.*
- 6) *Si eviti di montare i transistori scambiando fra loro i terminali.*
- 7) *Si usi un cercaguasti a transistori per localizzare i guasti.*

8) *Nelle misure di tensione si usino strumenti a bassa impedenza. Sono consigliabili i voltmetri con sensibilità di $10.000 \Omega/V \div 20.000 \Omega/V$; sono invece da escludere i voltmetri elettronici.*

9) *Nelle misure di resistenza si usi sempre la portata superiore dell'ohmmetro, su apparecchio spento.*

10) *Si eviti di stabilire cortocircuiti con l'asta metallica del cacciavite o con altri conduttori, specialmente fra base e collettore del transistor, quando l'apparecchio è sotto tensione.*

11) *Si eviti di scaldare eccessivamente le piste di rame dei circuiti stampati durante le saldature e di stabilire cortocircuiti tra pista e pista.*

12) *Si sconsiglia di accettare riparazioni di apparecchi a transistori per conto d'altri, fidandosi esclusivamente delle nozioni esposte in queste lezioni. Per svolgere con la necessaria competenza l'attività di riparatore in questo campo, conviene completare la preparazione tecnica seguendo il Corso Transistori appositamente preparato dalla Scuola, come già è stato detto nella Transistori I^a.*

4. - ESERCITAZIONE PRATICA

Montaggio dell'oscillatore RF

In questa lezione concluderà le esercitazioni con il transistor realizzando un oscillatore RF, funzionante nella gamma delle OM, che potrà essere modulato in ampiezza da un segnale BF.

L'oscillatore RF a transistor è simile all'analogo circuito con tubo elettronico ed è costituito sostanzialmente da uno stadio amplificatore, il cui circuito d'uscita è accoppiato al circuito d'entrata in modo da determinare l'innesco delle oscillazioni; la frequenza di queste è determinata dal circuito risonante al quale il transistor è collegato.

Lo schema elettrico dell'oscillatore RF che deve montare è illustrato nella *fig. 7*.

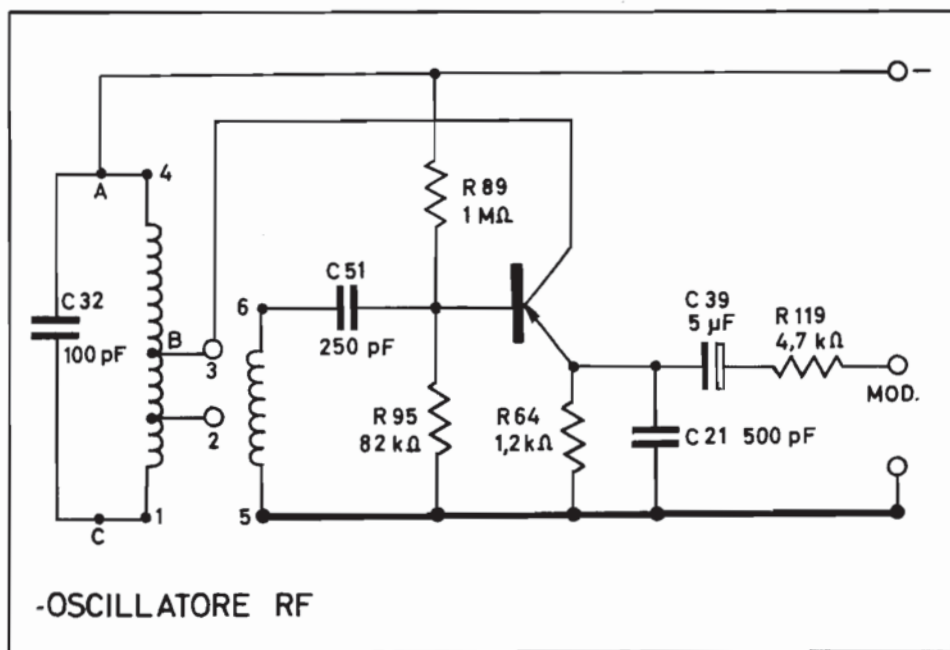


Fig. 7

Lo stadio amplificatore è del tipo ad emettitore comune ed è stabilizzato termicamente mediante il partitore formato dai resistori R89 da 1 MΩ e R95 da 82 kΩ e dal resistore d'emettitore R64 da 1,2 kΩ.

Il condensatore C21 da 500 pF, collegato in parallelo al resistore R64, ha il compito di eliminare la controeazione per il segnale a radiofrequenza.

L'avvolgimento primario della bobina RF ha una presa intermedia alla quale è collegato il collettore del transistor.

Fra i punti A e B dell'avvolgimento primario è pertanto presente la tensione d'uscita dello stadio amplificatore e fra i punti A e C è collegato il condensatore di accordo C32 da 100 pF.

L'avvolgimento primario della bobina ed il condensatore C32 da 100 pF costituiscono un circuito risonante su circa 1.100 kHz.

Essendo l'avvolgimento primario collegato al collettore del transistor e l'avvolgimento secondario collegato alla base mediante il con-

densatore C51 da 250 pF, si ha una reazione fra l'uscita e l'ingresso del transistor che consente l'innesco ed il mantenimento delle oscillazioni alla frequenza del circuito risonante.

Il segnale BF di modulazione viene applicato all'emettitore del transistor tramite il resistore R119 da 4,7 k Ω ed il condensatore C39 da 5 μ F.

Il segnale BF applicato all'emettitore fa variare periodicamente il punto di funzionamento del transistor e quindi l'amplificazione dello stadio. Di conseguenza le oscillazioni RF prodotte avranno un'ampiezza non pi \grave{u} costante ma variabile con il ritmo della BF, per cui si avr \grave{a} un segnale modulato in ampiezza.

Visto il funzionamento del circuito oscillatore, pu $\`o$ eseguire il montaggio del circuito sul telaio A.

Prima di disporre i nuovi componenti sul telaio deve smontare completamente il circuito dell'oscillatore a sfasamento realizzato nella precedente lezione.

Dissaldi quindi tutti i collegamenti e componenti dalle basette iniziando dal transistor; naturalmente l'alimentatore montato fra i capicorda della basetta D *non deve essere smontato*.

Il telaio A al termine del lavoro di preparazione deve presentarsi come illustrato nella *fig. 8*.

Effettui il montaggio dell'oscillatore RF attenendosi alle istruzioni qui di seguito riportate.

a) Disponga il resistore ad impasto R119 da 4,7 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (giallo - violetto - rosso, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA56 e CA58, dal lato esterno della basetta E; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA56.

b) Disponga il condensatore elettrolitico C39 da 5 μ F fra gli occhielli dei capicorda CA58 e CA61, dal lato esterno della basetta E, con il lato positivo rivolto verso il capocorda CA58; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA58, bloccando cos \grave{i} anche il terminale del resistore R119 disposto in precedenza.

c) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 8,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA61 della basetta E e l'occhiello del capocorda CA67 della basetta F; esegua

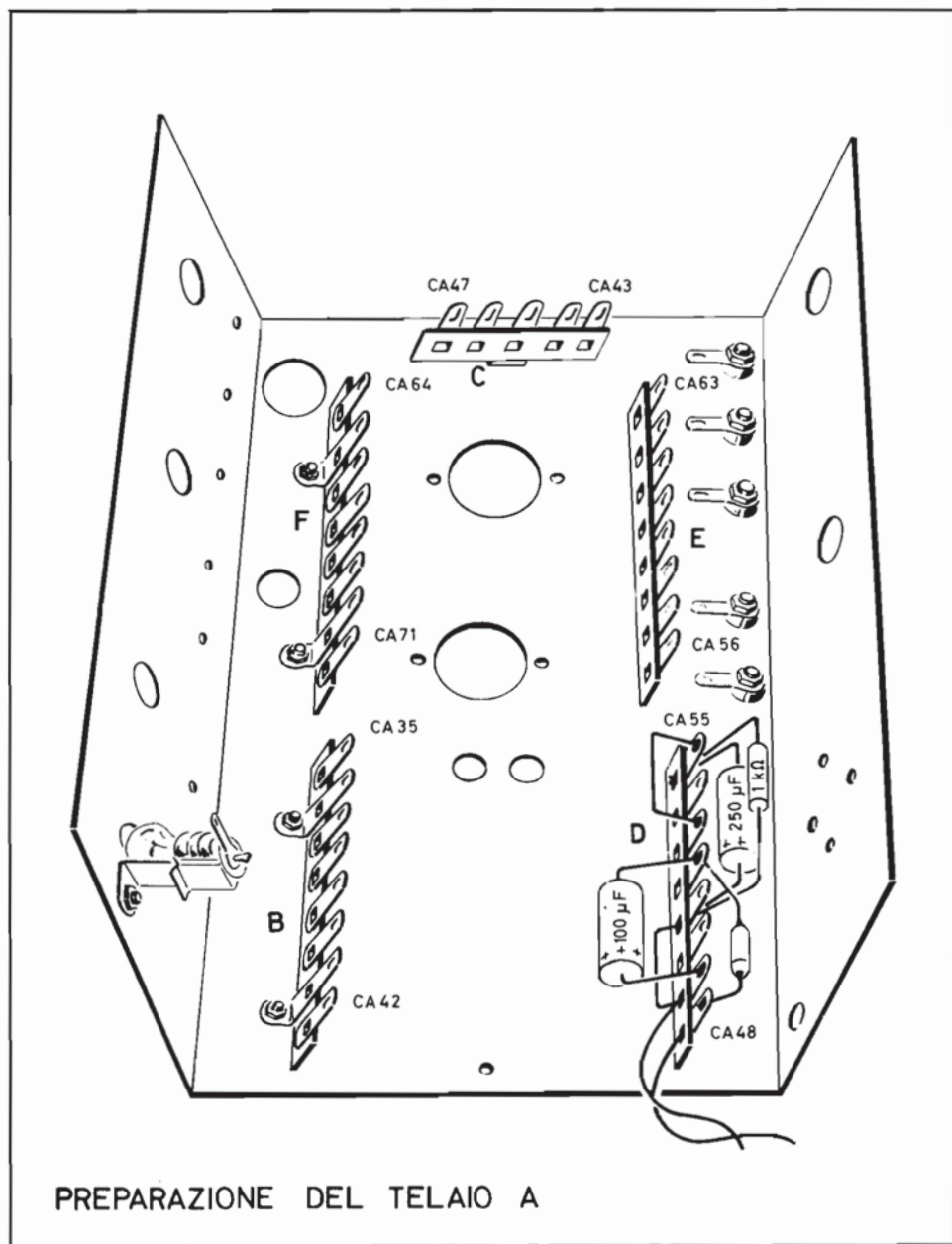


Fig. 8

la saldatura solamente sul capocorda CA61, bloccando così anche il terminale negativo del condensatore C39 disposto in precedenza.

d) Disponga il condensatore a mica C21 da 500 pF - 1 kVp, toll. 20% fra gli occhielli dei capicorda CA65 e CA67, dal lato esterno della basetta F; per ora non esegua alcuna saldatura.

e) Disponga il resistore ad impasto R64 da 1,2 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - rosso - rosso, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA65 e CA67, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando in tal modo anche entrambi i terminali del condensatore C21 ed il filo isolato giallo disposto in precedenza nel capocorda CA67.

f) Disponga il condensatore a mica C32 da 100 pF - 1 kVp, toll. 20% fra le linguette dei capicorda CA46 e CA47, dal lato esterno della basetta C; esegua la saldatura su entrambi i punti.

Deve ora montare sul telaio la bobina RF.

g) Disponga la bobina RF sul telaio, come indicato nella *fig. 9*, in corrispondenza del foro già utilizzato nelle precedenti lezioni per il montaggio della stessa bobina; fissi la bobina con una vite da 3 \times 6 mm ed un dado da 3 MA.

Prima di effettuare il collegamento della bobina RF al circuito è opportuno controllare con l'ohmmetro la continuità elettrica dei relativi avvolgimenti.

A tale scopo disponga l'analizzatore per la misura della resistenza con la portata di $R \times 10$: fra i capicorda 1 e 4 deve misurare un valore compreso fra 2 Ω e 4 Ω ; tra i capicorda intermedi, come pure tra i capicorda 5 e 6, deve misurare valori molto più bassi.

Se non dovesse rilevare continuità, si accerti che qualche filo dell'avvolgimento non sia dissaldato dal relativo capocorda.

Può ora proseguire nel montaggio elettrico dell'oscillatore.

h) Tagli uno spezzone di filo isolato verde lungo 4,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda 1 della bobina RF e l'occhiello del capocorda CA47 della basetta C; esegua la saldatura su entrambi i punti.

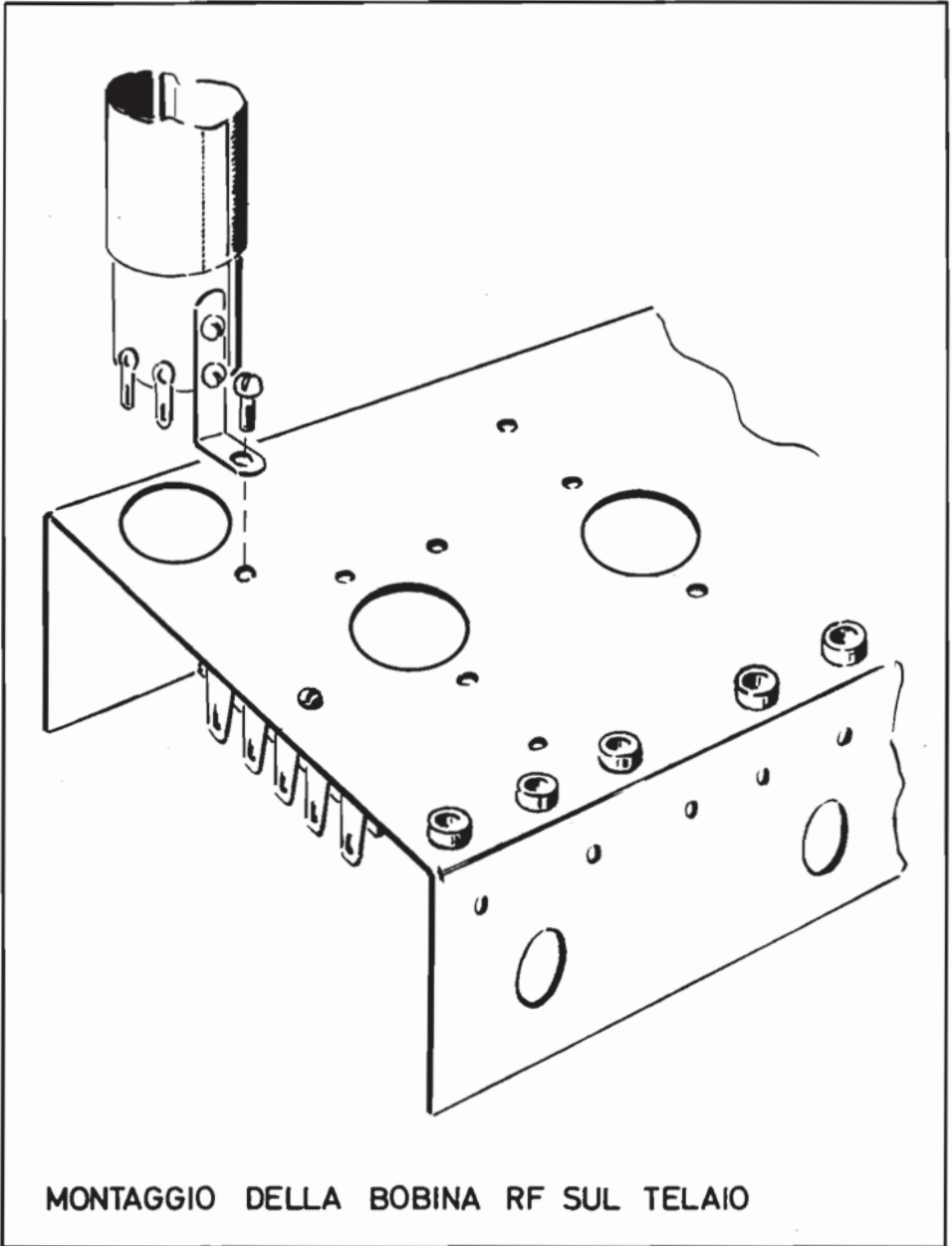


Fig. 9

i) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 9 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda 3 della bobina RF e l'occhiello del capocorda CA69 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

l) Tagli uno spezzone di filo isolato verde lungo 6 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra il capocorda 4 della bobina RF e l'occhiello del capocorda CA46 della basetta C; esegua la saldatura solamente sul capocorda 4 della bobina RF.

m) Tagli uno spezzone di filo isolato nero lungo 5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra la linguetta del capocorda CA65 della basetta F ed il capocorda 5 della bobina RF; esegua la saldatura solamente sul capocorda 5 della bobina RF.

n) Tagli uno spezzone di filo isolato giallo lungo 7 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA66 della basetta F ed il capocorda 6 della bobina RF; esegua la saldatura solamente sul capocorda 6 della bobina.

o) Riduca di circa 1 cm per parte i terminali del condensatore a mica C51 da 250 pF - 1 kVp, toll. 20%; disponga il condensatore fra gli occhielli dei capicorda CA66 e CA68, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sul capocorda CA66, bloccando così anche il filo isolato giallo proveniente dal capocorda 6 della bobina RF.

p) Disponga il resistore ad impasto R95 da 82 k Ω - 0,5 W, toll. 10% (grigio - rosso - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA68 e CA70, dal lato interno della basetta F; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA70.

q) Tagli uno spezzone di filo isolato verde lungo 10 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA71 della basetta F e l'occhiello del capocorda CA46 della basetta C; esegua la saldatura solamente sull'occhiello del capocorda CA46, bloccando così anche il filo isolato verde proveniente dal capocorda 4 della bobina RF.

r) Disponga il resistore ad impasto R89 da 1 M Ω - 0,5 W, toll. 10% (marrone - nero - verde, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA68 e CA71, dal lato esterno della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti, bloccando così anche i terminali del condensatore C51 e del resistore R95 disposti in precedenza nell'occhiello del capo-

corda CA68 ed il filo isolato verde disposto nell'occhiello del capocorda CA71.

s) Tagli uno spezzone di filo isolato rosso lungo 9,5 cm e lo disponga, ben aderente al telaio, fra l'occhiello del capocorda CA53 della basetta D e la linguetta del capocorda CA71 della basetta F; esegua la saldatura su entrambi i punti.

t) Saldi un terminale del condensatore a carta C29 da 47 nF - 630 V, toll. 20% sulla linguetta del capocorda CA65 della basetta F, bloccando così anche il filo isolato nero proveniente dal capocorda 5 della bobina RF; l'altro terminale del condensatore non deve essere saldato, pertanto lo disponga in modo che non venga a contatto con altri punti del circuito (questo condensatore non fa parte del circuito dell'oscillatore; esso, come avrà modo di constatare durante il controllo funzionale, consentirà di accertare se il ricevitore è sintonizzato sulla frequenza del segnale emesso dall'oscillatore RF).

u) Dissaldi dagli occhielli dei capicorda CA55 e CA52 della basetta D il resistore ad impasto R74 da 100 Ω .

v) Disponga il resistore ad impasto R101 da 10 k Ω - 1 W, toll. 10% (marrone - nero - arancio, argento) fra gli occhielli dei capicorda CA52 e CA55, dal lato interno della basetta D; esegua la saldatura su entrambi i punti.

I collegamenti finora eseguiti sono rappresentati nella *fig. 10* e nella *fig. 11*.

Per completare il montaggio dell'oscillatore RF non Le rimane che collegare al circuito il transistor.

Prima di eseguire questa operazione deve però effettuare un accurato controllo a freddo del montaggio realizzato.

Esegua le misure indicate nella tabella della *fig. 12*. Se qualche valore misurato non corrispondesse a quelli riportati, consulti la tabella della *fig. 13*.

Concluso il controllo a freddo, può collegare il transistor sul lato esterno della basetta F.

z) Saldi il terminale di emettitore (E) sulla linguetta del capocorda CA67; saldi il terminale di base (B) sulla linguetta del capo-

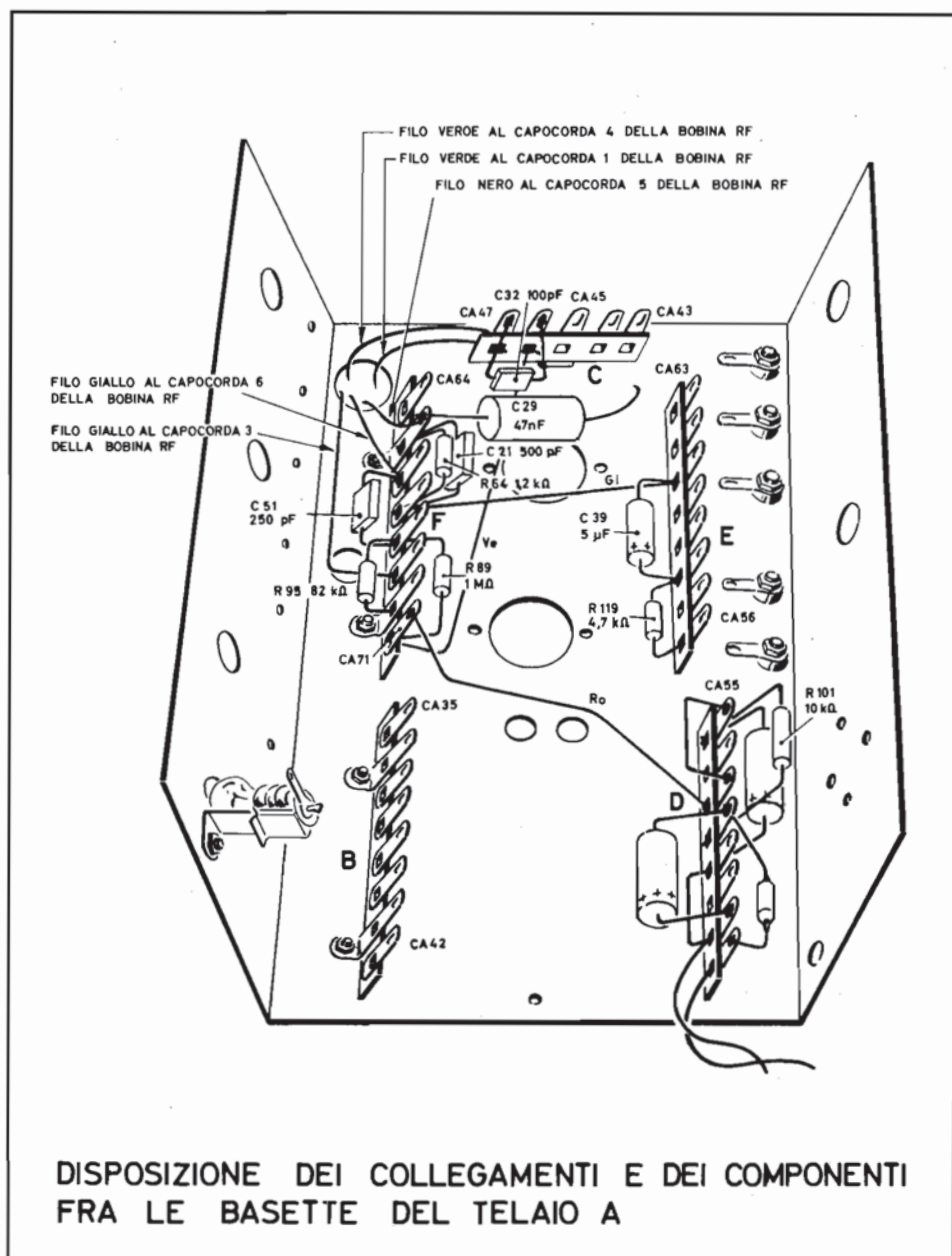


Fig. 10

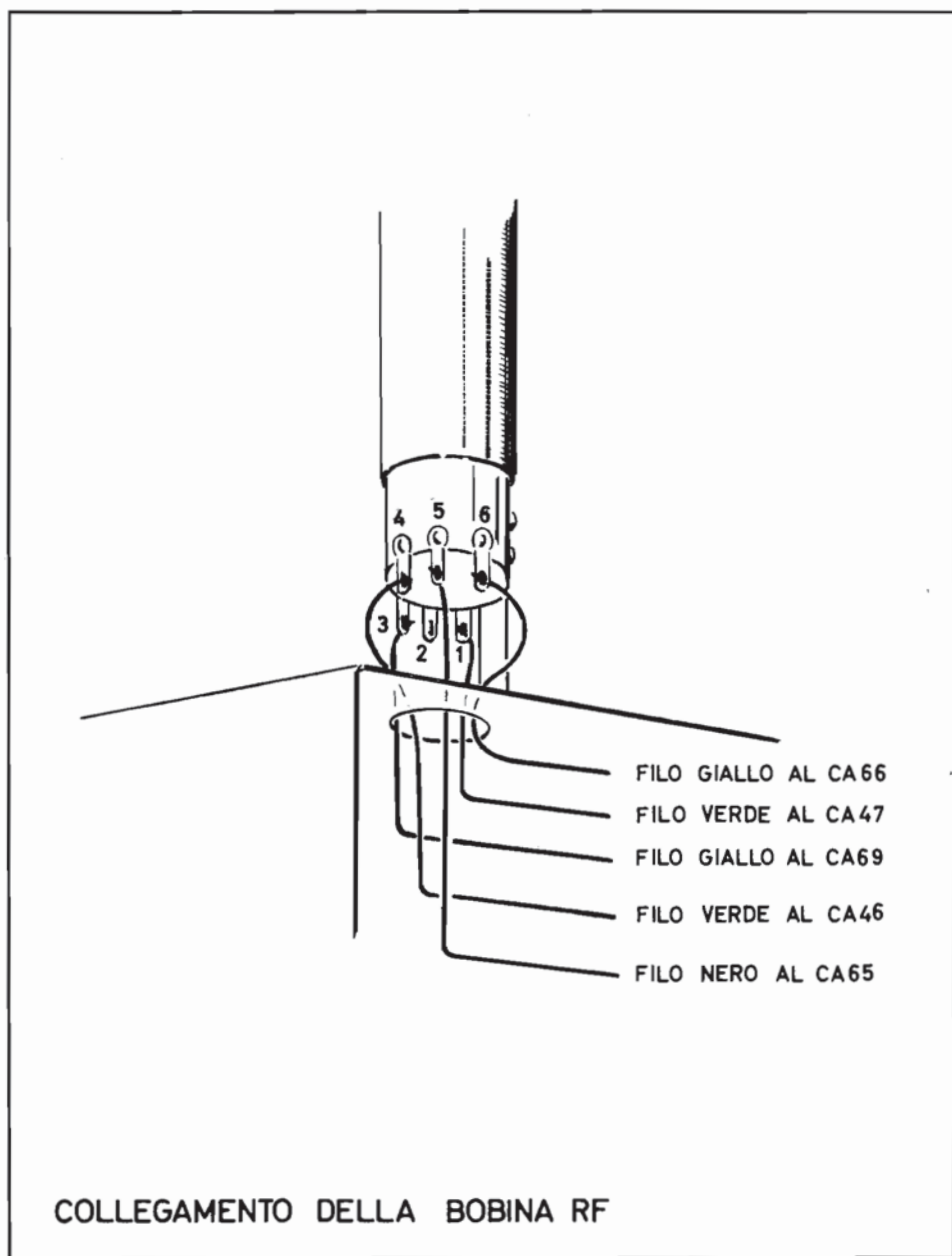


Fig. 11

N° PROGR.	PUNTI DI CONNESSIONE DELL'OHMMETRO	PORTATA	VALORI OTTENIBILI CON ANALIZZATORE DA 10.000 Ω/V E DA 1.000 Ω/V
1	Fra CA56 e CA58	R x 1.000	4 kΩ ± 5,4 kΩ
2	Fra CA58 e CA61	R x 1.000	Valore elevato di resistenza
3	Fra massa e CA61	R x 10	1.000 Ω ± 1.400 Ω
4	Fra massa e CA46	R x 1.000	80 kΩ ± 500 kΩ
5	Fra massa e CA47	R x 1.000	80 kΩ ± 500 kΩ
6	Fra massa e CA66	R x 10	1 Ω ± 2 Ω
7	Fra massa e CA67	R x 10	1.000 Ω ± 1.400 Ω
8	Fra massa e CA68	R x 1.000	70 kΩ ± 94 kΩ
9	Fra massa e CA69	R x 1.000	80 kΩ ± 500 kΩ
10	Fra massa e CA71	R x 1.000	80 kΩ ± 500 kΩ
11	Fra CA52 e CA67	R x 1.000	80 kΩ ± 500 kΩ
12	Fra CA52 e CA68	R x 1.000	60 kΩ ± 200 kΩ
13	Fra CA52 e CA69	R x 1.000	8.500 Ω ± 11.500 Ω
CONTROLLO A FREDDO DELL'OSCILLATORE RF			

Fig. 12

PUNTI TRA I QUALI SI E' MISURATO IL VALORE IRREGOLARE DI RESISTENZA	CAUSA PROBABILE
Tra CA56 e CA58	- Resistore R119 da 4,7 k Ω alterato
Tra CA58 e CA61	- Condensatore C39 da 5 μ F in cortoc <u>ir</u> cuito
Tra massa e CA61	- Resistore R64 da 1,2 k Ω alterato - Condensatore C21 da 500 pF in cortoc <u>ir</u> cuito
Tra massa e CA47	- Avvolgimento primario della bob <u>in</u> a RF interrotto
Tra massa e CA66	- Avvolgimento di reazione della bob <u>in</u> a RF interrotto
Tra massa e CA68	- Resistore R95 da 82 k Ω alterato - Condensatore C51 da 250 pF in cortoc <u>ir</u> cuito
Tra CA52 e CA69	- Resistore R101 da 10 k Ω alterato
CONSULENZA SULLE IRREGOLARITA' NEL CONTROLLO A FREDDO DELL'OSCILLATORE RF	

Fig. 13

corda CA68; saldi infine il terminale di collettore sulla linguetta del capocorda CA69.

Il transistoro deve risultare collegato come illustrato nella *fig. 14*.

Prima di procedere al controllo funzionale dell'oscillatore RF ora terminato, è opportuno verificare che la tensione fornita dall'alimentatore sia regolare e quindi misurare la tensione fra massa e l'emettitore del transistoro.

Come al solito, la tensione di alimentazione del circuito sarà ottenuta raddrizzando la tensione di 6,3 V prelevata dall'avvolgimento secondario del trasformatore di alimentazione montato sul telaio del ricevitore.

Disponga il telaio del ricevitore vicino al telaio A.

Saldi il filo trecciola nero proveniente dal telaio A sul cilindretto d'ancoraggio A4 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore.

Saldi il filo trecciola verde proveniente dal telaio A sul cilindretto d'ancoraggio A5 del circuito stampato dell'alimentatore montato sul telaio del ricevitore.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 10 V CC.

Innesti il puntale rosso dell'analizzatore in uno dei fori da 3 mm di diametro del telaio e porti il puntale nero a contatto con il capocorda CA52 della basetta D; dia infine tensione al ricevitore commutandolo sulla gamma OM: l'indice del voltmetro deve indicare un valore di tensione compreso fra 6 V CC e 9 V CC.

Se invece lo strumento non indica alcun valore di tensione, si accerti innanzitutto che fra massa ed il capocorda CA48 della basetta D vi sia la tensione alternata di valore compreso fra 5 V CA e 7 V CA.

Non riscontrando irregolarità da questo controllo, verifichi che i condensatori C1 da 250 μ F e C12 da 100 μ F non siano in cortocircuito e che il diodo OA81 sia efficiente. In particolare, se il condensatore C12 ha la custodia priva di rivestimento isolante controlli che questa non sia venuta accidentalmente a contatto con il telaio.

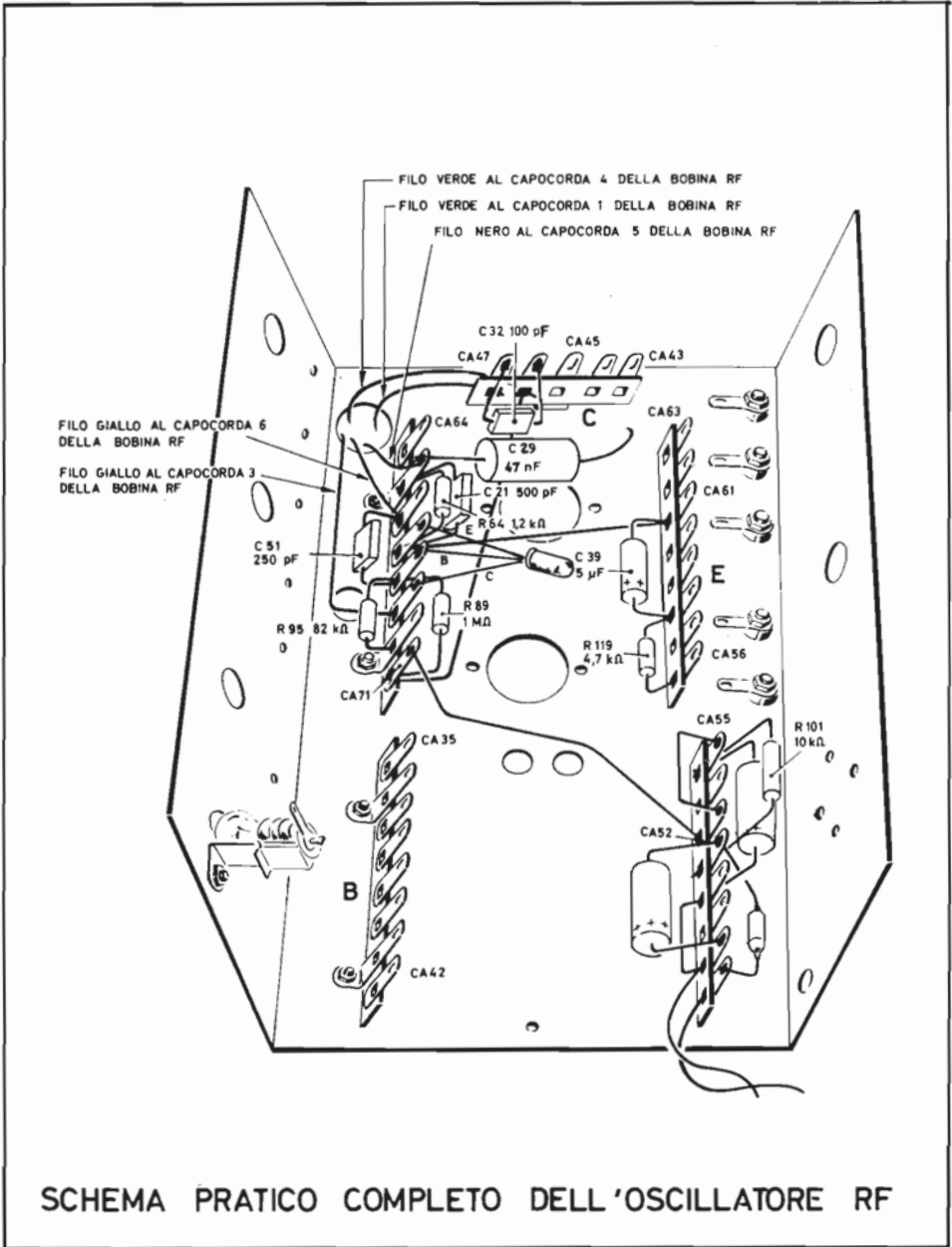


Fig. 14

Ottenuto esito positivo dalla misura della tensione fornita dall'alimentatore può effettuare la misura della tensione sull'emettitore del transistor.

Disponga quindi l'analizzatore con la portata di 1 V CC. Porti il puntale rosso a contatto con il telaio ed il puntale nero a contatto con il capocorda CA61 della basetta E: l'indice dello strumento deve indicare un valore di tensione compreso fra $-0,18$ V e $-0,32$ V.

Se invece dalla misura eseguita ottenesse un valore di tensione non compreso fra i limiti indicati oppure non ottenesse alcuno spostamento dell'indice dello strumento, significa che lo stadio oscillatore RF è inefficiente.

Ripeta in tal caso il controllo ohmmetrico del circuito dissaldando prima il transistor dai capicorda della basetta F; naturalmente a controllo ultimato salderà nuovamente al suo posto il transistor.

Ottenuto esito positivo dalla misura della tensione sull'emettitore, può ora passare al controllo funzionale.

Questo controllo consiste nel captare con il ricevitore disposto sulla gamma OM il segnale irradiato dall'oscillatore RF. Poiché il segnale emesso dall'oscillatore non è modulato, per avere l'indicazione della corretta sintonizzazione del ricevitore sulla frequenza di tale segnale è opportuno collegare l'analizzatore, disposto come voltmetro CC, ai capi del gruppo RC di rivelazione del circuito rivelatore per MA del ricevitore stesso.

Disponga l'analizzatore per la misura della tensione continua con la portata di 3 V.

Infilì il puntale rosso dell'analizzatore in uno dei fori da 3 mm di diametro del telaio del ricevitore; porti l'altro puntale a contatto con il capocorda CA21 della basetta E, come indicato nella *fig. 15*.

Disponga il telaio A in modo che la bobina RF dell'oscillatore sia rivolta in direzione del gruppo a tastiera del ricevitore e sia distante dal gruppo stesso non più di 15 cm circa, come indicato nella *fig. 16*.

Poiché la frequenza dell'oscillatore è fissa, dovrà sintonizzare il ricevitore su tale valore di frequenza.

Apra a circa metà corsa il condensatore variabile del ricevitore.

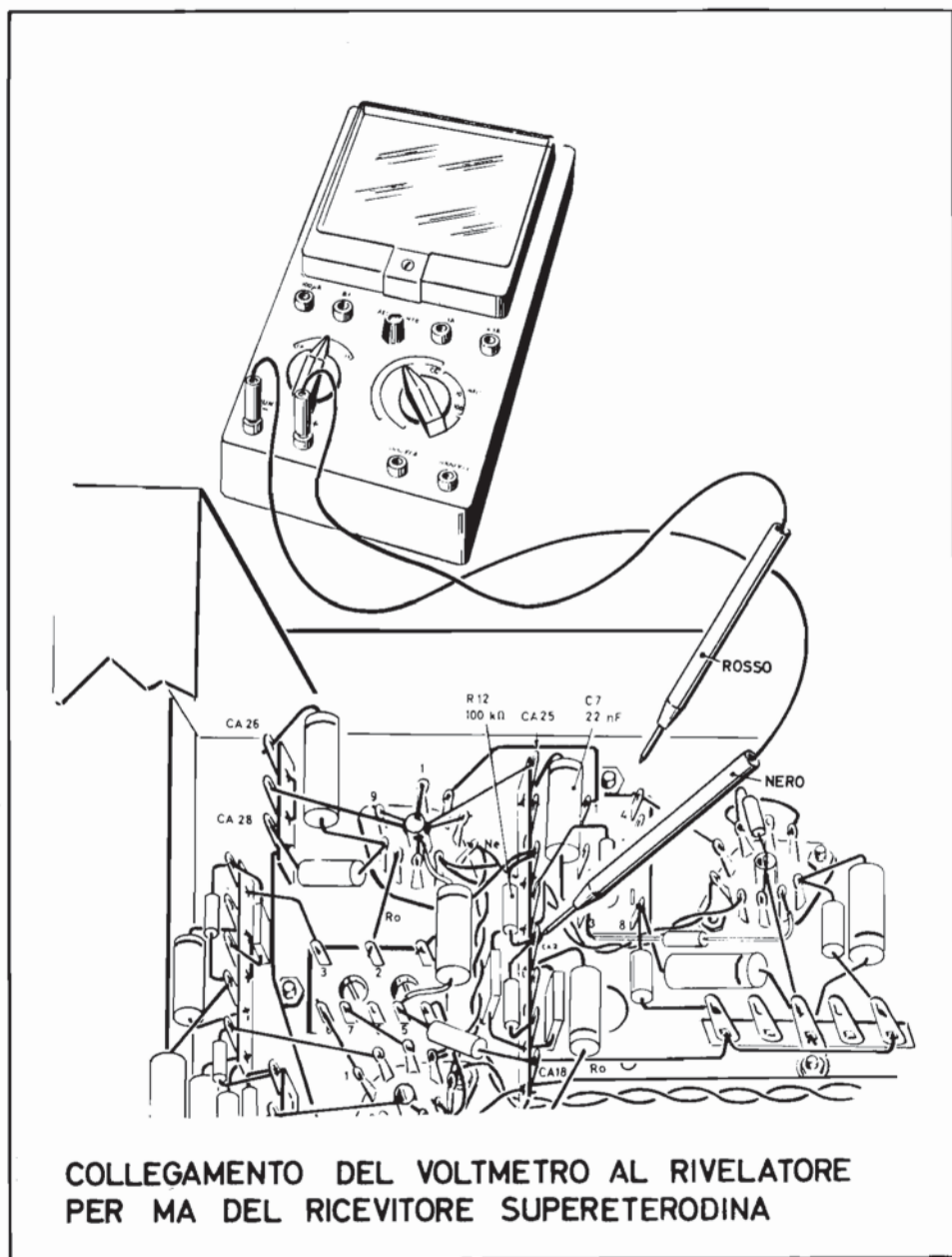
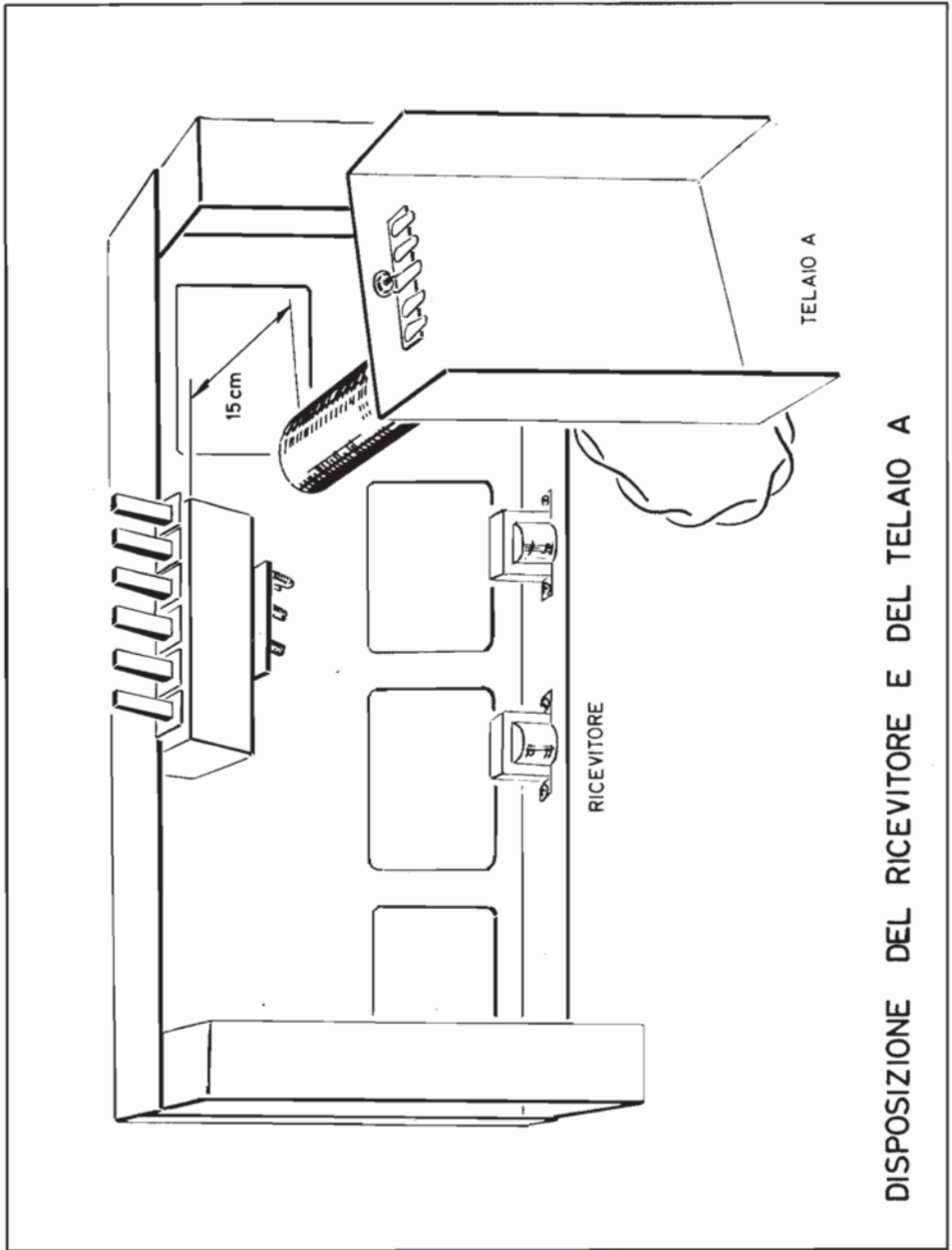


Fig. 15



DISPOSIZIONE DEL RICEVITORE E DEL TELAIIO A

Fig. 16

Ruoti quindi molto lentamente l'alberino di comando del condensatore variabile attorno alla posizione corrispondente a metà apertura delle lamine mobili sino ad ottenere il massimo spostamento dell'indice dello strumento collegato sul rivelatore: in tale condizione il ricevitore risulta esattamente sintonizzato sulla frequenza del segnale emesso dall'oscillatore.

Per accertarsi che il segnale captato dal ricevitore, ed indicato dal voltmetro, sia effettivamente quello irradiato dall'oscillatore, porti il terminale libero del condensatore C29 da 47 nF a contatto con il capocorda CA68 della basetta F: l'indice del voltmetro deve ora spostarsi completamente a sinistra sullo zero; infatti in queste condizioni l'oscillatore RF non è più in grado di oscillare.

Accertatosi in tal modo che l'oscillatore è regolarmente funzionante e che il ricevitore è sintonizzato sulla stessa frequenza, separi l'analizzatore dal circuito rivelatore del ricevitore e stacchi il terminale del condensatore C29 da 47 nF dal capocorda CA68 della basetta F del telaio A.

Può ora modulare in ampiezza il segnale dell'oscillatore RF a transistore mediante il segnale BF a 800 Hz circa, prelevato dall'oscillatore modulato.

Disponga quindi l'oscillatore modulato vicino al telaio A.

Infilì la banana nera del cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato nel manicotto di un coccodrillo nero, e la banana rossa nel manicotto di un coccodrillo rosso.

Serri con il coccodrillo nero del cavetto d'uscita il telaio A in un punto qualsiasi; serri con il coccodrillo rosso il capocorda CA56 della basetta E.

Disponga i comandi dell'oscillatore modulato nelle seguenti posizioni:

- commutatore di gamma sulla posizione BF;
- interruttore di modulazione sulla posizione MOD. INT.;
- manopola dell'attenuatore sulla posizione 10 della scala graduata.

I collegamenti fra l'oscillatore modulato ed il telaio A devono presentarsi come illustrato nella *fig. 17*.

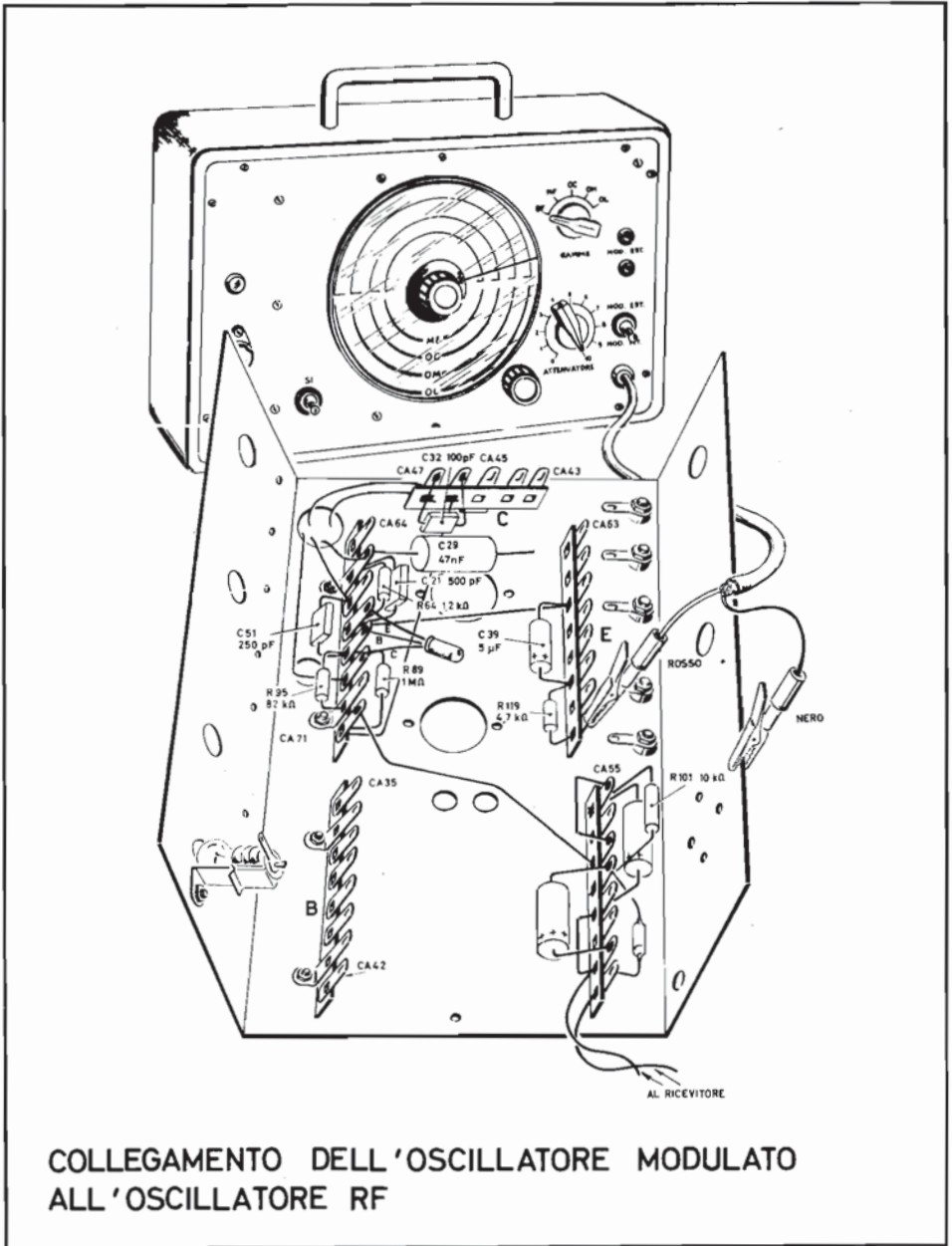


Fig. 17

Accenda l'oscillatore modulato e ruoti a circa metà corsa il potenziometro regolatore del volume del ricevitore: deve udire ora dall'altoparlante la nota di modulazione del segnale BF.

Può, infine, eseguire la misura della frequenza del segnale emesso dall'oscillatore, mediante battimento con l'oscillatore modulato. Come rivelatore del battimento dei due segnali sarà utilizzato il ricevitore.

Stacchi il cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato dal telaio A e dal capocorda CA56 della basetta E.

Colleghi il cocodrillo rosso del cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato al capocorda CA46 della basetta L del ricevitore ed il cocodrillo nero al telaio del ricevitore stesso.

Disponga il commutatore di gamma dell'oscillatore modulato sulla posizione OM.

Disponga l'interruttore di modulazione sulla posizione MOD. EST.

Ruoti la manopola di sintonia dell'oscillatore modulato sino a portare l'indice della manopola a traguardo all'incirca su 1.100 kHz. Il collegamento dell'oscillatore modulato al ricevitore è illustrato nella *fig. 18*.

Spostando leggermente la manopola a traguardo dell'oscillatore attorno al valore di 1.100 kHz deve udire ad un certo punto, dall'altoparlante del ricevitore, un fischio dovuto alla differenza fra la frequenza del segnale dell'oscillatore modulato e quella del segnale dell'oscillatore RF a transistore.

Ruoti quindi lentamente, in un senso o nell'altro, la manopola dell'oscillatore modulato sino ad ottenere che la tonalità del fischio diminuisca sempre più divenendo a mano a mano più grave: ciò significa che la differenza delle frequenze dei due segnali diviene sempre minore. *Quando le due frequenze sono esattamente eguali il suono dall'altoparlante deve annullarsi*; continuando a spostare la manopola a traguardo nello stesso senso il fischio viene nuovamente emesso dall'altoparlante con tonalità prima bassa poi sempre più acuta, sino a scomparire totalmente quando le due frequenze sono molto differenti tra loro.

Il valore esatto della frequenza del segnale emesso dall'oscillatore sarà dato dalla posizione dell'indice della manopola a traguardo in cor-

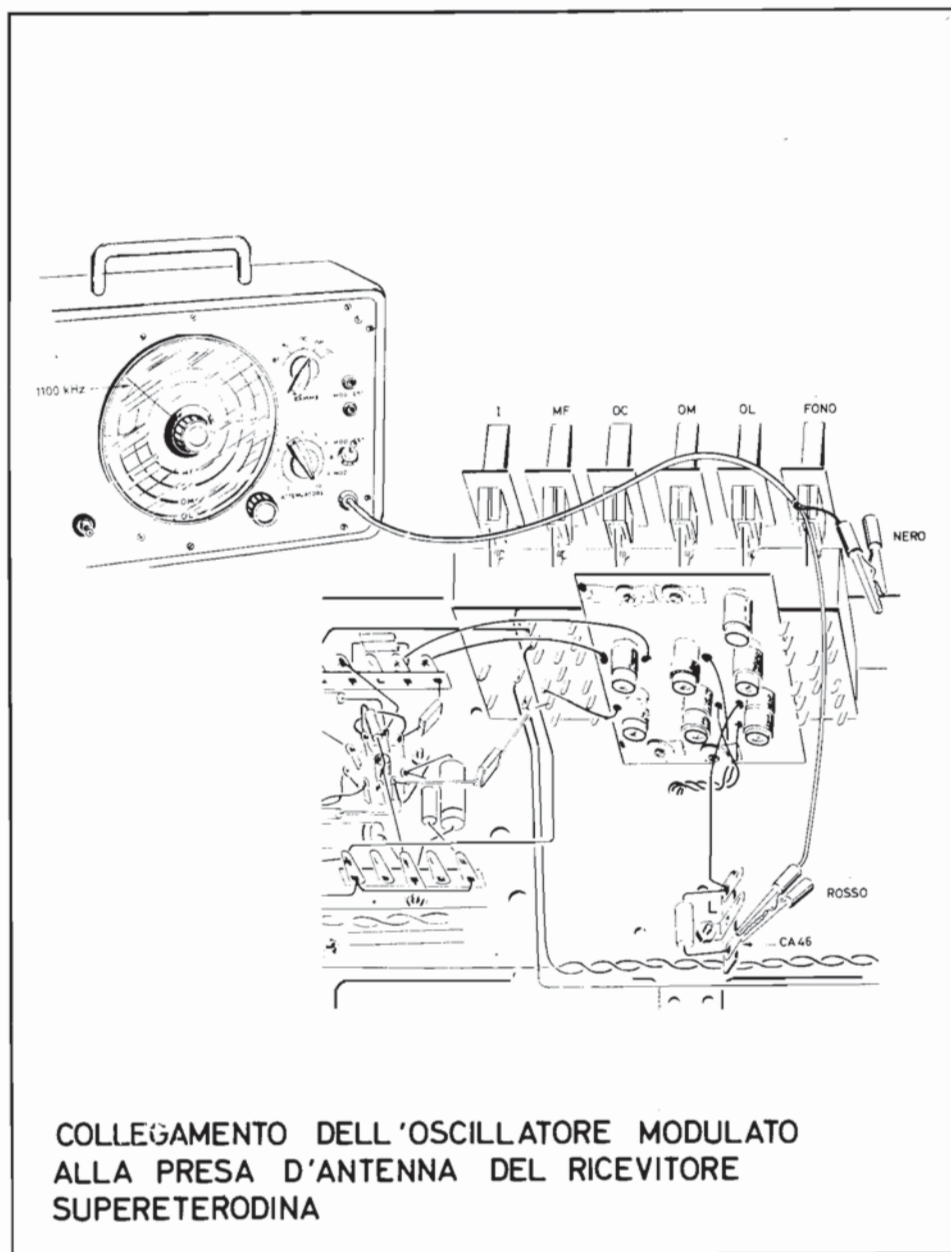


Fig. 18

rispondenza della quale ha ottenuto l'annullamento del fischio riprodotto dall'altoparlante.

Il controllo funzionale dell'oscillatore RF a transistor è così concluso.

Spenga il ricevitore e l'oscillatore modulato.

Stacchi il cavetto d'uscita dell'oscillatore dal ricevitore.

Dissaldi dagli ancoraggi A4 ed A5 del circuito stampato dell'alimentatore, montato sul telaio del ricevitore, i fili trecciola verde e nero provenienti dal telaio A.

ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 10*

1. - L'amplificatore a base comune può essere vantaggioso rispetto all'amplificatore ad emettitore comune?
 2. - La frequenza intermedia del ricevitore a transistor per MF è uguale a quella del ricevitore a valvole per MF?
 3. - Quanti stadi comprende la sezione di frequenza intermedia di un ricevitore per MF?
 4. - Il convertitore elevatore a transistori è più vantaggioso di quello tradizionale a vibratore?
 5. - Nelle misure di tensione su circuiti a transistori si debbono usare strumenti ad alta impedenza?
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 9*

1. - Un amplificatore è selettivo quando si trovi inserito un circuito risonante nel suo circuito d'uscita, oppure nel suo circuito d'entrata, od anche in entrambi i circuiti, quello d'entrata e quello d'uscita.
 2. - No, il valore di frequenza intermedia dei ricevitori MA a transistori in genere è uguale a quello dei ricevitori a valvole (valore comunemente adottato: 467 kHz).
 3. - No, per gli stadi FI occorrono transistori che abbiano una frequenza di taglio maggiore, cioè superiore al valore di frequenza intermedia adottato.
 4. - No, l'antenna a ferrite è meno efficiente di una classica antenna a filo conduttore, ma ha il vantaggio di essere meno sensibile ai disturbi dovuti a scintille elettriche (motori, ecc.) ed inoltre è poco ingombrante.
 5. - No, il transistore del convertitore autooscillante è in connessione ad emettitore comune nella funzione di miscelatore, e si presenta in connessione a base comune nella funzione di oscillatore.
-

RISPOSTE ALL'ESERCIZIO DI RIPASSO SULLA TRANSISTORI 10*

1. - Sì, l'amplificatore a base comune può diventare vantaggioso rispetto all'amplificatore ad emettitore comune nel campo delle frequenze elevate, perchè ha una frequenza di taglio più elevata, e quindi consente di ottenere in definitiva maggiore amplificazione del segnale e più sicura stabilità di funzionamento in qualsiasi condizione.
 2. - Sì, la frequenza intermedia del ricevitore a transistori per MF è uguale a quella del ricevitore a valvole per MF, ossia è fissata al valore di 10,7 MHz.
 3. - La sezione di frequenza intermedia di un ricevitore per MF in genere comprende tre stadi, con transistori in connessione ad emettitore comune.
 4. - Il convertitore elevatore a transistori offre un maggior rendimento, specialmente quando sono in gioco bassi valori di potenza, quindi è vantaggioso rispetto al convertitore elevatore tradizionale.
 5. - No, nelle misure di tensione su circuiti a transistori si debbono usare strumenti a bassa impedenza; sono consigliabili i voltmetri con sensibilità di $10.000 \Omega/V \div 20.000 \Omega/V$; sono invece da escludere i voltmetri elettronici.
-

