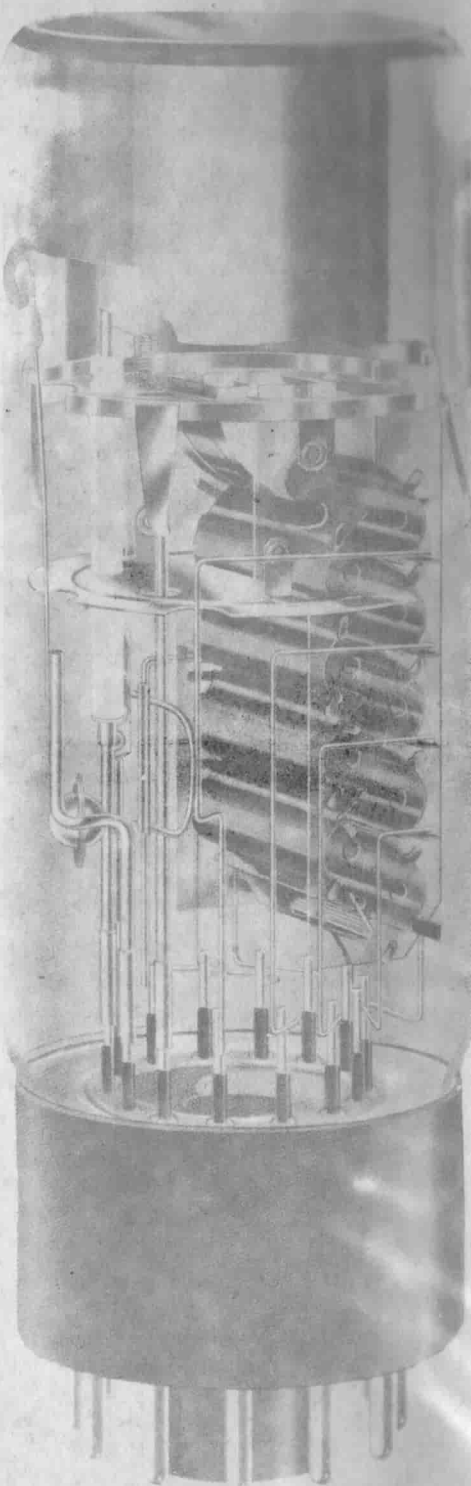
Domenico **COLAPIETRO**
dell'Istituto Tecnico Industriale
«ENRICO FERMI» di Roma

TECNOLOGIA DEI COMPONENTI ELETTRONICI



Volume II

Tecnologia dei tubi elettronici
Tecnologia dei semiconduttori
rettificatori, transistori
Circuiti stampati
Apparecchiature elettroniche
Organizzazione tecnico-industriale

SECONDA EDIZIONE

Edizioni Scientifiche SIDEREA

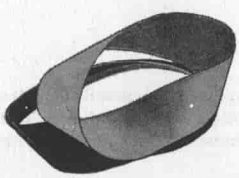
Domenico ***COLAPIETRO***

dell'Istituto Tecnico Industriale
«ENRICO FERMI» di Roma

TECNOLOGIA DEI COMPONENTI ELETTRONICI

Volume II

SECONDA EDIZIONE



Edizioni Scientifiche **SIDEREA**

Le copie non firmate dall'Autore si ritengono contraffatte

0692

Stampato nel laboratorio fotolitografico delle
Edizioni Scientifiche SIDEREA
Via delle Terme di Traiano, 5a - Roma - Tel.736304

PARTE PRIMA

CAPITOLO I

ELEMENTI ESSENZIALI DELLA FISICA DEI MATERIALI.

I.1 - Materiali conduttori, isolanti e semiconduttori.

Il modello fisico che viene usualmente impiegato nel descrivere la struttura atomica degli elementi, la cui combinazione fornisce le infinite sostanze esistenti in natura è, com'è noto, quello che in certo modo ricorda il sistema solare. Tale modello è costituito da un nucleo pesante con carica positiva, intorno al quale si muovono gli elettroni che percorrono orbite ellittiche, alcune più interne altre più esterne. L'orbita più esterna, detta orbita di valenza, è quella che caratterizza il comportamento chimico dell'elemento. Come è noto, si chiama valenza, la capacità che ha l'atomo di un elemento di combinarsi con uno o più atomi di idrogeno. Il numero degli elettroni che percorre l'orbita di valenza definisce infatti le proprietà chimiche dell'elemento stesso. La perdita di uno o più elettroni determina valenze positive, l'acquisto di un certo numero di elettroni, valenze negative. Gli elettroni esterni tendono all'assestamento di equilibrio e perciò fra atomi diversi tale sistemazione porta appunto alla combinazione chimica.

La tabella periodica degli elementi, fig. 1, ci ricorda che questi risultano ordinati, in ordine di numero atomico crescente, in serie orizzontali ed in gruppi verticali nei quali si trovano riuniti gli elementi che si somigliano, in particolare aventi lo stesso numero di elettroni nell'orbita esterna.

Si è osservato che l'atomo risulta particolarmente stabile quando tale orbita è occupata da otto elettroni: fra questi ricordiamo i gas nobili.

TABELLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

Elettroni di valenza / Numero di orbite	1	2	3	4	5	6	7	8
1	H 1							He 2
2	Li 3	Be 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12	Al 12	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20						
	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33			Kr 36
5								
	Ag 47				Sb 51			Xe 54
6								
	Au 79			Pb 82	Bi 83			
7		Ra 88						

← Elettropositivi → ← Elettronegativi →

Fig. 1

Nelle combinazioni il passaggio degli elettroni da un atomo all'altro tende a raggiungere questo stato e tale meccanismo risponde alle combinazioni comuni della chimica inorganica. Gli elementi situati sulla sinistra della tabella periodica, cioè quelli con pochi elettroni nell'orbita esterna, come il sodio e l'idrogeno tendono a perdere il loro elettrone di valenza formando uno ione positivo (elementi elettropositivi o basici). In ciascun gruppo questa tendenza a perdere l'elettrone di valenza è più spiccata per gli elementi di maggior raggio atomico, nei quali è minore la forza di attrazione tra il nucleo e gli elettroni più esterni.

Gli elementi situati a destra nella tabella periodica, cioè quelli aventi numerosi elettroni nella corona esterna, come il cloro che ne ha 7, tendono ad acquistare nuovi elettroni di valenza in modo da comple-

tare il relativo ottetto; in tale processo questi atomi diventano ioni negativi (elementi elettronegativi o acidi).

Nel caso limite di un composto chimico formato da un elemento tipicamente elettropositivo, come il sodio, ed uno fortemente elettronegativo come il cloro, il trasferimento degli elettroni dagli atomi di sodio a quelli di cloro, avviene in modo completo come illustrato in fig. 2.

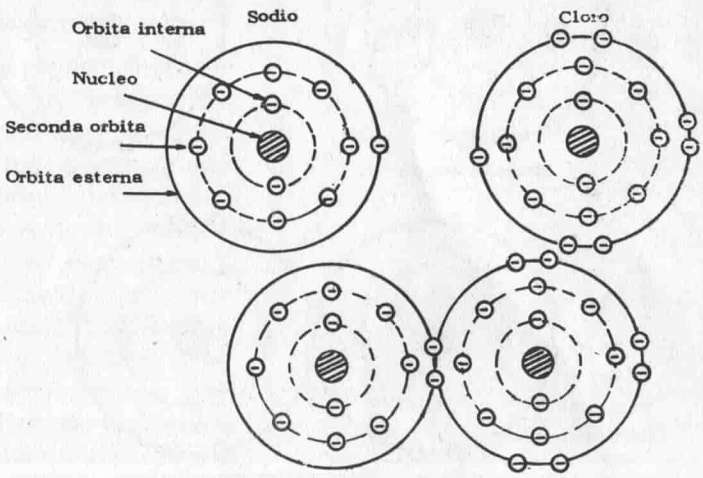


Fig. 2

Il composto in questione (cloruro di sodio) è un materiale solido, consiste in una struttura geometrica di ioni sodiopositivi e di ioni cloronegativi. Le forze che tengono insieme questa struttura sono principalmente di natura elettrostatica per cui questo legame viene denominato *ionico o elettrostatico*. I cristalli di questo composto, allo stato solido secco, sono eccellenti isolanti in relazione all'immobilità dei loro ioni, ma basta che vengono fusi o disciolti in solventi polari perché diventino buoni conduttori. Questa completa inversione di comportamento si verifica perché l'effetto del solvente è quello di distruggere la struttura geometrica esistente, annullando i legami rigidi degli ioni che restano liberi di muoversi. Ora, dato che, come è noto, il movimento di cariche è la base del fenomeno della conduzione, si comprende perché tali materiali perdono ogni loro proprietà isolante.

Quando il legame chimico ha luogo tra due atomi non aventi un carattere elettronegativo o elettropositivo differenziato, come ad esempio tra carbonio e silicio, il completamento dell'ottetto di ciascun ato-

mo è ottenuto con la mutua cooperazione degli elettroni di valenza dei singoli atomi e tale legame è detto ***covalente***, fig. 3.

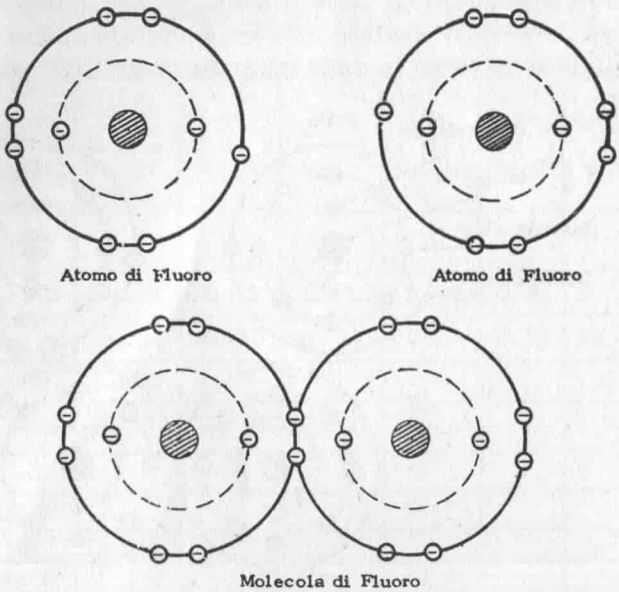


Fig. 3

Gli elementi situati nella parte centrale della tabella periodica hanno atomi senza un carattere marcatamente elettropositivo o elettronegativo e tendono a formare legami covalenti con tutti gli altri elementi e specialmente con se stessi. Tali legami sono i migliori ai fini dell'isolamento elettrico in quanto la molecola risultante è elettricamente equilibrata, e, contrariamente a quanto avviene per i legami ionici, non viene liberato alcun ione che dia la possibilità di conduzione.

Vi è infine da considerare un terzo tipo di legame, detto polare, fig. 4, che si ha, ad esempio, nella combinazione idrogeno - cloro. Questo legame, a prima vista, sembra analogo al legame ionico del sodio - - cloro in quanto l'idrogeno ha un solo elettrone nell'orbita esterna ed al cloro ne manca uno per completare l'ottetto.

L'elettrone dell'idrogeno, però, è unito al suo atomo molto più saldamente di quello del sodio, avendo un raggio atomico minore. L'elettrone esterno del sodio, infatti, essendo nella terza orbita, è meno vincolato e, quando questi atomi si combinano, si trasferisce effettivamente nell'atomo di cloro. L'elettrone dell'idrogeno, invece, che troverebbe

posto nell'orbita esterna dell'atomo cloro, non può staccarsi dal suo atomo, ne risulta pertanto una molecola polarizzata che ha le proprietà sia del legame ionico che del legame covalente. Le molecole polari sotto la azione di un campo elettrico tendono a ruotare e questo spostamento di cariche, in particolari circostanze determina una conduzione.

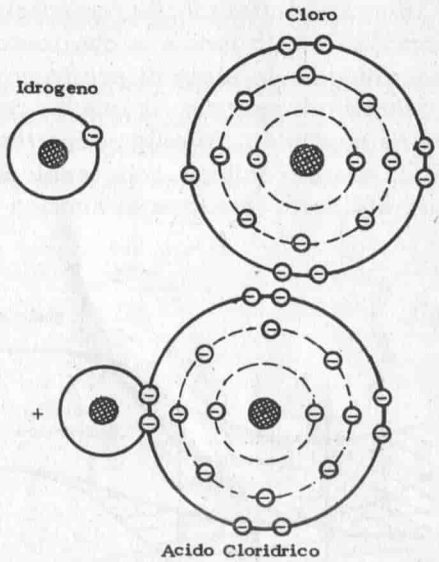


Fig. 4

Il comportamento degli isolanti che presentano i legami sopra accennati può essere rappresentato in modo schematico dalla fig. 5 che rappresenta lo schema delle bande di energia per i materiali conduttori ed i materiali isolanti confrontate con quelle di un atomo a se stante. Occorre tenere presente che l'atomo può essere, a seconda dell'energia che possiede, in stato di riposo o di eccitazione. Lo stato di riposo è caratterizzato dal fatto che gli elettroni dell'atomo stesso si muovono sulle rispettive orbite normali; nello stato di eccitazione invece, uno o più elettroni si muovono secondo orbite diverse provocando uno stato di instabilità.

Tra i due livelli di energia che identificano i suddeti stati può esistere un intervallo energetico, detto anche zona di energia inibita, in cui l'energia si accumula senza dar luogo a mutamento di stato dello atomo stesso.

Considerando ora l'atomo non più a se stante, ma genericamente gli atomi di comuni sostanze, questi si comportano in maniera diversa. Quando si somministra loro dell'energia (ad esempio sotto forma di calore o di differenza di potenziale) a seconda della natura della sostanza stessa, i livelli energetici di riposo o eccitazione degli atomi hanno delle gamme di variazione rappresentate nel grafico dalla zona tratteggiata delle due curve e l'ampiezza di queste zone dipende dalla quantità di elettroni disponibili.

Nel caso degli isolanti, le bande di riposo e di eccitazione sono strette e sempre separate da un intervallo di energia inibita tanto più

largo quanto migliore è l'isolante, mentre per i materiali conduttori le due zone sono talmente ampie da sovrapporsi, cosicché si passa dallo stato di riposo a quello di eccitazione senza soluzione di continuità, cioè in un conduttore si ha immediatamente un movimento di elettroni proporzionale alla tensione applicata. Nel caso degli isolanti, invece, per raggiungere lo stato di eccitazione è necessario somministrare loro una quantità di energia, in questo caso apportata da adeguati valori di tensione applicata, tale da permettere agli elettroni di superare l'intervallo di energia inibita: tale tensione praticamente corrisponde al valore iniziale della tensione di scarica nell'isolante stesso.

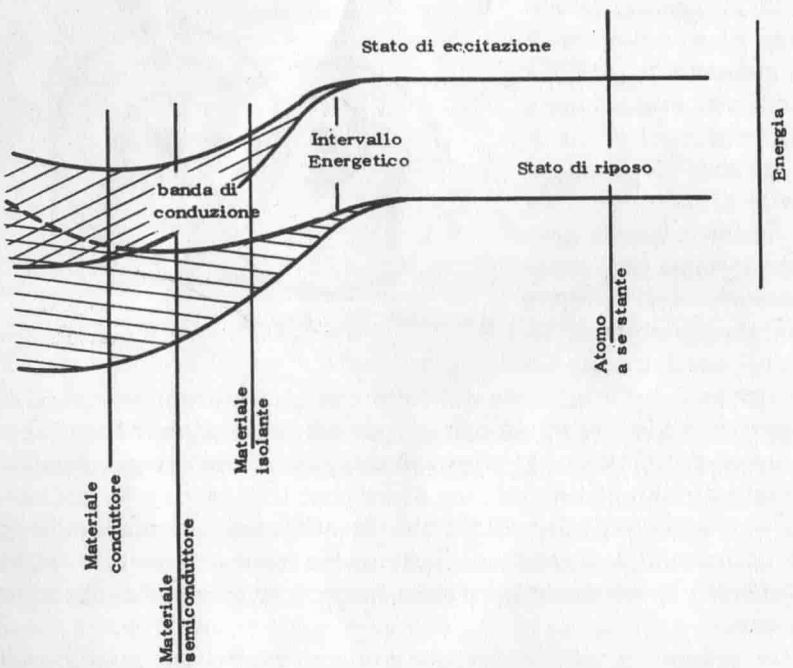


Fig. 5

Misurando la conduttività di un campione costituito chimicamente da un solo elemento, che chiamiamo conduttore, si riscontra un valore notevolmente superiore a quello osservato effettuando le misure su un campione di un elemento cosiddetto isolante. Per avere un ordine di grandezza si può ricordare che il rapporto tra le conduttività del rame (ottimo conduttore) e quella del vetro (ottimo isolante) è $3,33 \times 10^{19}$.

Esistono anche elementi che, a temperatura normale, non appartengono né alla classe dei conduttori, né a quella degli isolanti. Questi elementi, che si dicono *semiconduttori*, presentano una conduttività di valore intermedio rispetto a quelle presentate dalle due classi precedenti.

Alcuni dei più importanti semiconduttori sono il germanio, il selenio ed il silicio, tutti usati nella tecnologia dei transistori.

Per comprendere il meccanismo di conduzione di detti materiali occorre esaminare brevemente la loro struttura atomica.

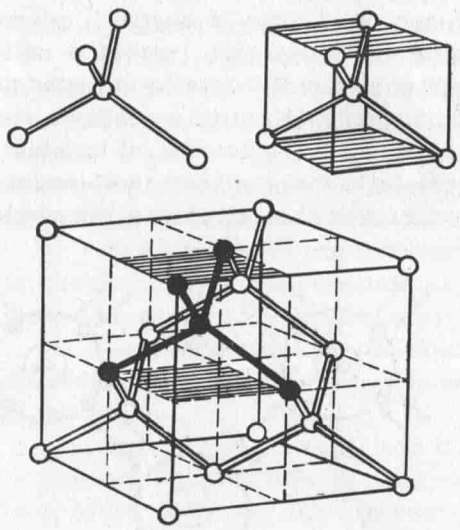


Fig. 6

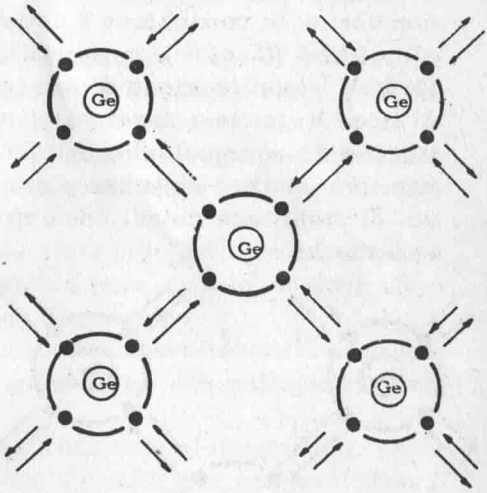


Fig. 7

L'atomo di germanio possiede quattro elettroni nell'orbita esterna ed un particolare assestamento stabile della struttura cristallina dovuta al legame covalente. In un cristallo puro di germanio tutti gli atomi costituiscono una struttura cubica, fig. 6

La fig. 7 mostra una rappresentazione semplificata, nel piano, del cristallo di germanio. Sia dalla fig. 6 che dalla fig. 7 si vede perfettamente che tutti i legami covalenti sono completi e quindi la struttura è stabile. Di conseguenza il germanio allo stato puro ed alla temperatura dello zero assoluto si comporta come un isolante perfetto. Con lo aumento della temperatura però presenta una certa conduzione dovuta alla rottura di legami di valenza come meglio si vedrà più avanti.

Il germanio allo stato puro ed a temperatura ambiente presenta una piccola conduzione. Se in esso però sono presenti, in quantità piccolissime, delle impurità di altri elementi (ad esempio arsenico, boro, indio, ecc.) il valore della conducibilità aumenta notevolmente. Ciò accade per il motivo seguente: quando per esempio un atomo pentavalente (5 elettroni di valenza) entra nella struttura cristallina al posto di un atomo di germanio, quattro dei suoi elettroni sono richiesti dai legami strutturali e quindi sono solidamente vincolati mentre il quinto è assai debolmente legato e si può spostare da un punto ad un altro della massa anche a temperatura normale. Tali impurità prendono il nome di donatori e la conduzione è detta del tipo N. La fig. 8 mostra il germanio di tipo N cioè con impurità di atomi pentavalenti (arsenico nella figura). L'applicazione di una tensione continua al cristallo di germanio di tipo N tende a spostare gli elettroni verso la polarità positiva. Naturalmente ogniqualvolta un elettrone passa dal cristallo al terminale positivo un altro elettrone entra nel cristallo tramite il terminale negativo. Si stabilisce quindi una corrente continua che si chiude attraverso la batteria.

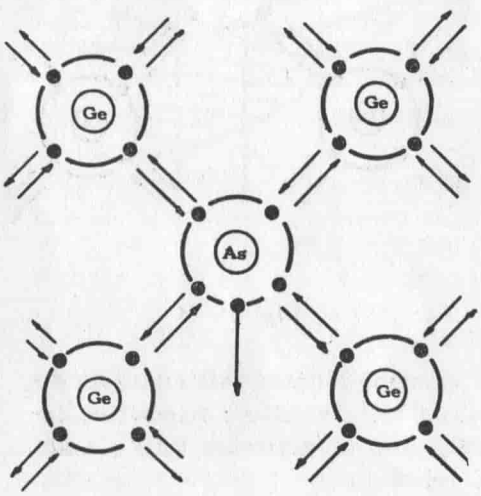


Fig. 8

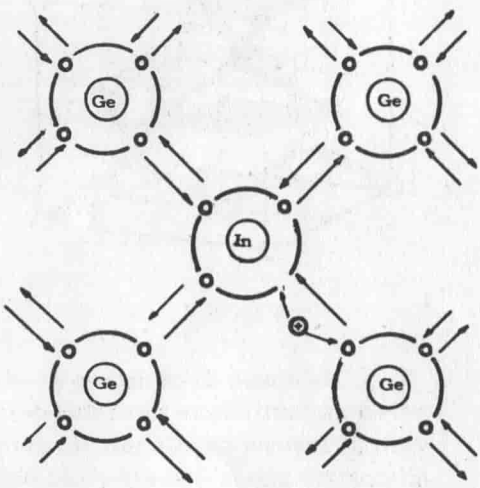


Fig. 9

Può darsi invece che le impurità siano costituite da atomi trivalenti.

Quando vi è un atomo trivalente al posto di un atomo di germanio i legami della struttura cristallina non sono saturi, e si ha la mancanza

di un elettrone. A temperatura normale un elettrone potrebbe saltare nel legame della struttura cristallina incompleto ma in tal caso lascerebbe un altro legame incompleto.

Sotto l'influenza di un campo elettrico gli elettroni si muovono in modo da saturare i legami incompleti; e si può anche pensare che i buchi o lacune si muovono nella direzione opposta. Una lacuna è quindi un legame covalente incompleto che simula le proprietà di un elettrone con carica positiva. Le impurità (i cui atomi determinano tali fenomeni di conduzione) si chiamano accoglitori, la conduzione è detta di tipo P. La fig. 9 mostra il germanio di tipo P cioè il germanio con impurità di atomi trivalenti (indio nella figura).

L'applicazione di una tensione continua ai capi di un cristallo di germanio di tipo P provoca il movimento delle lacune verso il terminale negativo. Quando una lacuna raggiunge il terminale negativo un elettrone è emesso da detto terminale e la lacuna viene cancellata. Il fluire di queste lacune nell'interno del cristallo dà luogo ad una corrente che si chiude attraverso la batteria.

Si è parlato di impurità ma non è stato precisato quantitativamente questo concetto. Il germanio si considera puro quando si trova un atomo estraneo su 500 milioni o più atomi di germanio.

La concentrazione di impurità più adatta per ottenere il germanio dei transistori è quella di un atomo di impurità su 100 milioni di atomi di germanio.

Impurità di elementi non trivalenti né pentavalenti possono essere presenti nel cristallo, ma non sono desiderabili; pur non modificando la conduttività, esse introducono imperfezioni nella struttura cristallina e causano un peggioramento delle caratteristiche del semiconduttore.

Il germanio allo stato puro prende il nome di germanio ***intrinseco***.

Fornendo al cristallo, come si è già detto, una certa quantità di calore si può avere conduzione e ciò si spiega in quanto gli elettroni vengono forzati a svincolarsi dai legami di covalenza. Sebbene la rottura dei legami di covalenza generata dal calore fornisca un uguale numero di elettroni e di lacune, tuttavia la conduzione risultante è invariabilmente di tipo N e ciò si spiega considerando che la velocità di spostamento degli elettroni è circa il doppio di quella delle lacune.

*

CAPITOLO II

GIUNZIONI.

II.2 - Giunzione P - N.

Si chiama giunzione una regione di piccolo spessore di un monocristallo nella quale la conducibilità passa gradualmente dal tipo P al tipo N.

È possibile ottenere questa utilizzazione per diffusione di impurità nel semiconduttore e per mezzo di speciali trattamenti termici.

Se un cristallo di germanio è costituito da una zona di tipo P e da una zona di tipo N esiste necessariamente fra di esse una zona nella quale si passa da un tipo di conduzione all'altro.

Sia un monocristallo costituito da due blocchi differenti di germanio, uno di tipo P e uno di tipo N, fig. 10.

Nella regione N vi è un numero preponderante di elettroni liberi e nella regione P un numero preponderante di lacune o cariche positive.

Gli elettroni liberi della regione N si diffondono nella regione P e le lacune o cariche positive della regione P si spostano nella zona N.

Questo movimento di cariche porta al completamento dei legami covalenti nella regione P nell'intorno della giunzione a spese degli elettroni liberi della regione N prossimi alla stessa giunzione.

Si ha allora che gli atomi di indio della regione P con l'assunzione di un elettrone sono diventati elettricamente negativi, mentre gli

atomi di arsenico della regione N con la perdita degli elettroni non legati con legami covalenti sono diventati elettricamente positivi.

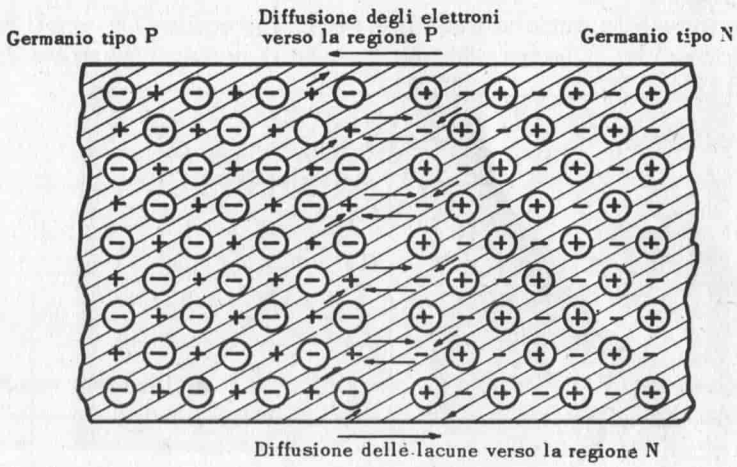


Fig. 10

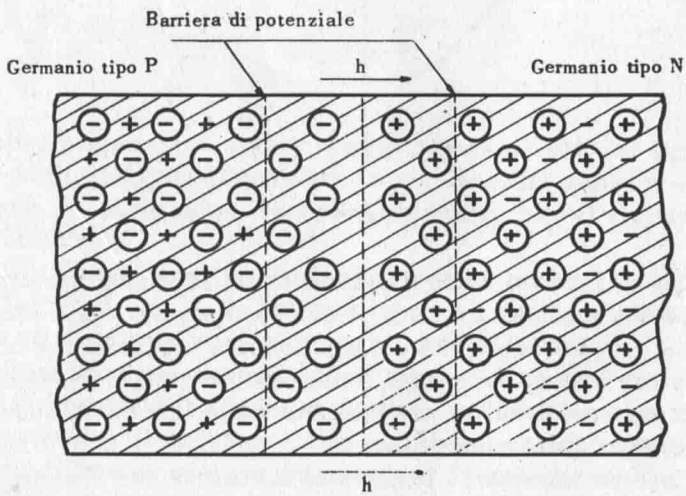


Fig. 11

Questa doppia carica spaziale fa apparire un campo elettrico, interno alla giunzione, di valore h orientato nel senso che va dalla carica spaziale negativa (germanio di tipo P) verso la carica spaziale positiva (germanio di tipo N).

Il campo elettrico h si oppone alla diffusione delle lacune o cariche positive verso la regione N e alla diffusione degli elettroni liberi verso la regione P. Si stabilisce così una barriera di potenziale che tende a respingere le cariche positive verso la regione P e gli elettroni verso la regione N. Questa barriera prende il nome di *barriera di potenziale*, fig. 11.

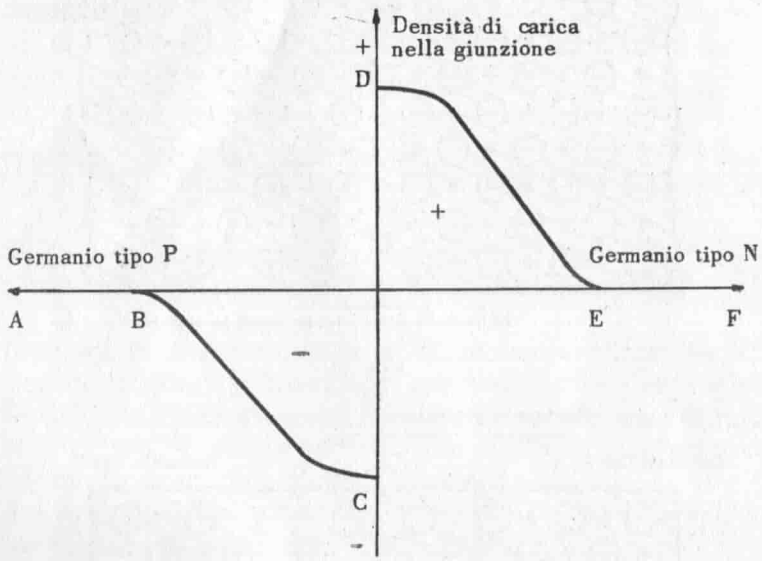


Fig. 12

Poiché nei pressi della giunzione spariscono i portatori mobili di cariche, questa regione, o strato di transizione, dello spessore di 1 μ (1 μ 10^{-3} mm = 0,001 mm) circa, può essere considerata come un isolatore perfetto. Questo fenomeno mette in evidenza la presenza di una capacità di giunzione il cui valore dipende oltre che dalla superficie anche dallo spessore della giunzione.

La fig. 12 rappresenta la densità di cariche in funzione della distanza dalla giunzione in un blocco di germanio di tipo P - N elettricamente neutro.

II.2 - Effetto di un campo elettrico esterno applicato ad un monocristallo contenente una giunzione.

- ***Giunzione polarizzata in senso diretto.***

Realizziamo il circuito come in fig. 13 con interruttore aperto.

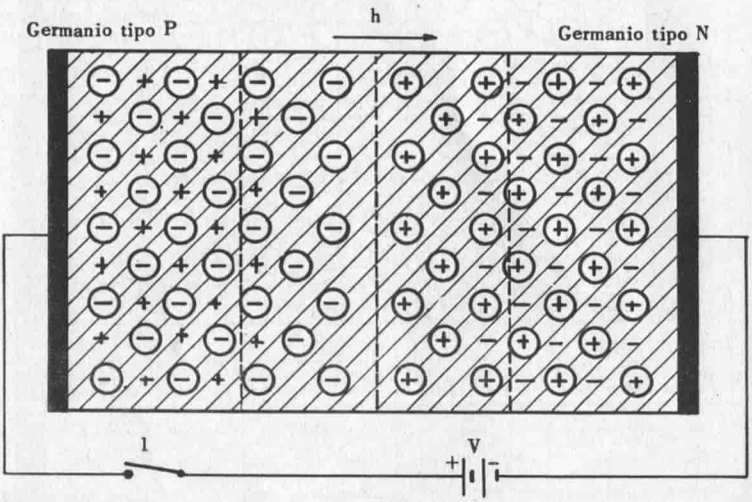


Fig. 13

Nella giunzione esiste il solo campo h che si oppone alla diffusione degli elettroni liberi della zona N nella zona P e delle lacune della zona P nella zona N. Nella giunzione non vi è passaggio di corrente elettrica.

Chiudiamo ora l'interruttore, fig. 14.

La tensione V di batteria crea un campo elettrico H che esternamente alla batteria va dal segno - verso il segno +.

Questo campo elettrico H si oppone all'azione del campo elettrico h; il campo H ha la tendenza a provocare la diffusione, si verifica così un movimento di elettroni dalla regione N verso la regione P ed un movimento di cariche positive dalla regione P verso la regione N.

Nella giunzione circola una corrente di elettroni I. La giunzione conduce.

Giunzione polarizzata in senso inverso.

Realizziamo il disegno come in fig. 15 e chiudiamo l'interruttore. In questo circuito la polarità della batteria risulta invertita e quindi

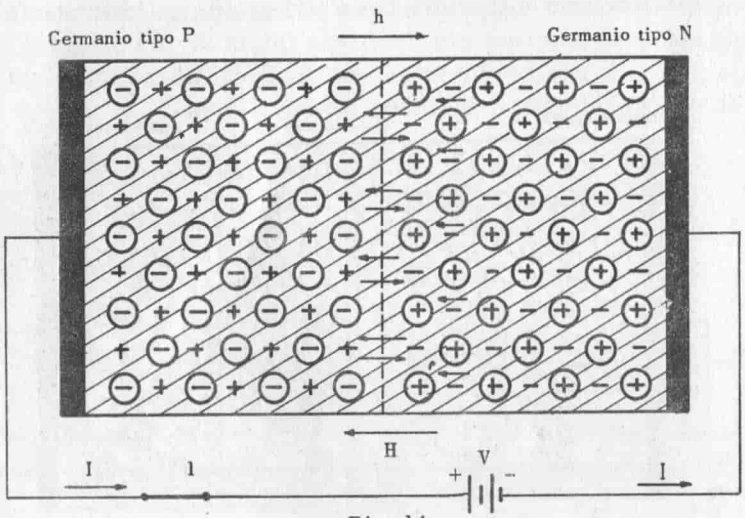


Fig. 14

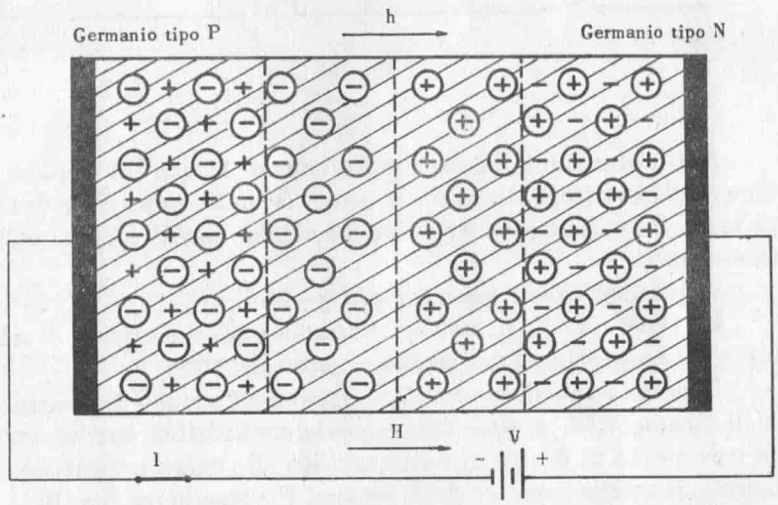


Fig. 15

anche il campo H esterno assume direzione opposta. I due campi H ed h sono ora orientati nella stessa direzione; il campo H esterno rinforza il campo h interno.

Gli elettroni liberi della regione N e le lacune della regione P non possono diffondersi attraverso la giunzione.

La giunzione non conduce.

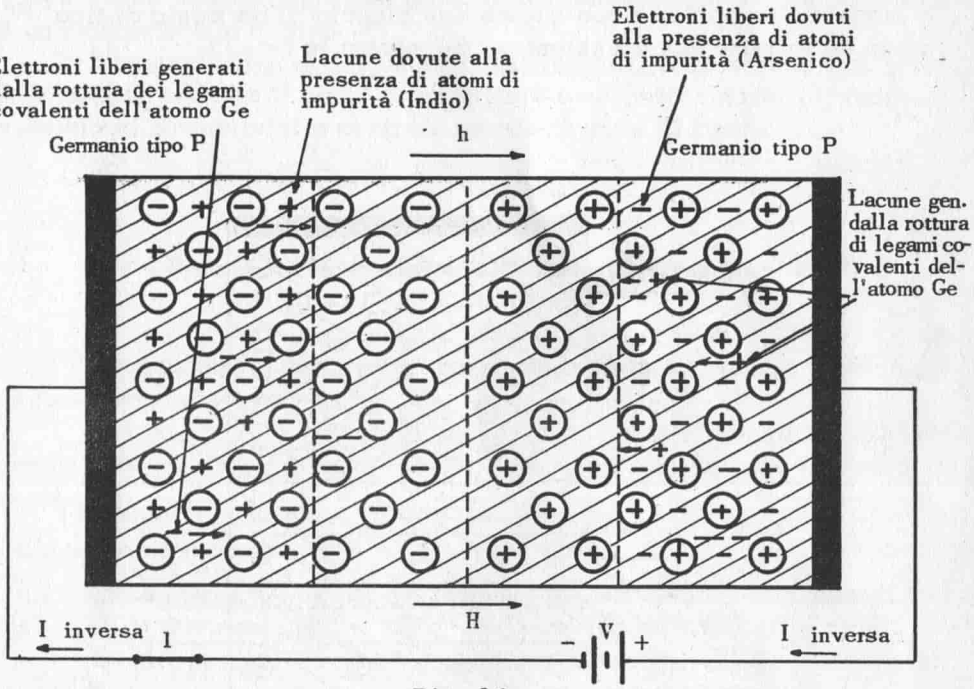


Fig. 16

In realtà una piccolissima corrente si stabilisce nel circuito dovuta, come abbiamo già accennato, alla rottura di legami di valenza nei pressi della giunzione. Questa corrente chiamata ***corrente inversa,*** figura 16, cresce con l'aumentare della temperatura e con il campo elettrico nella giunzione e può raggiungere valori tali da distruggere la giunzione. Da questo istante il movimento termico nella giunzione è tale che il monocristallo assume le caratteristiche di un conduttore.

II.3 - Effetto transistore.

Un ulteriore passo in avanti si ottiene con la realizzazione del transistore a giunzione.

Prendiamo un blocco di germanio di tipo N di piccolo spessore e mettiamo in contatto con questo due blocchi di germanio di tipo P in modo da formare due giunzioni, come mostra la fig. 17.

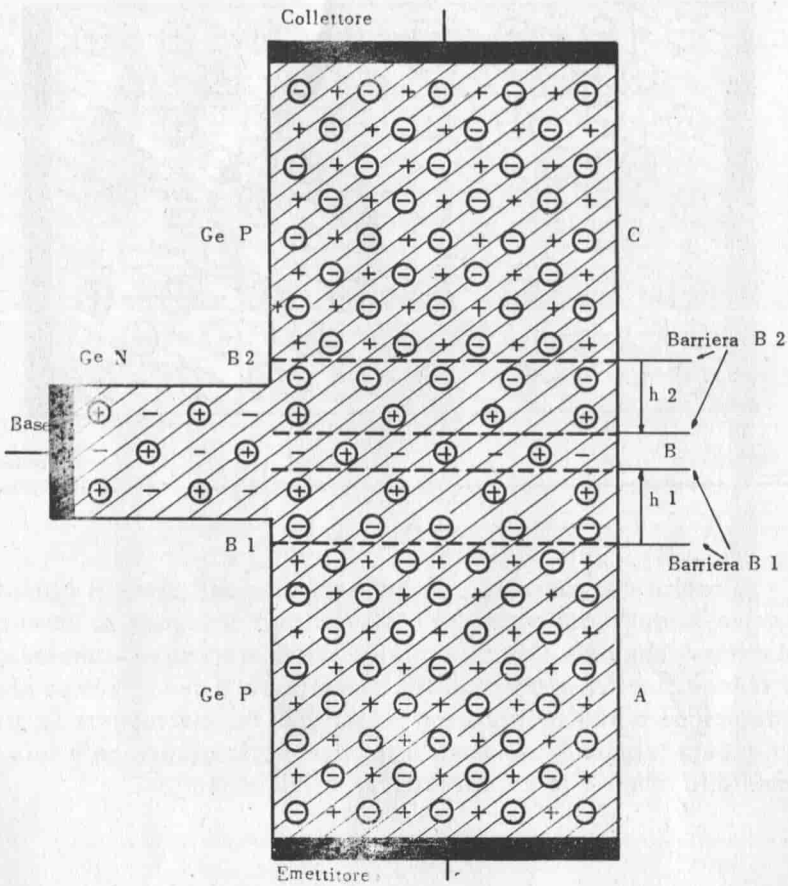


Fig 17

Come si vede dalla figura i due campi h_1 e h_2 nelle giunzioni risultano in opposizione e formati come abbiamo già detto da tre blocchi di germanio uniti assieme secondo l'ordine PNP, da cui, questo tipo di transistore prende il nome.

Si deduce immediatamente la possibilità di costruire transistori di tipo NPN aggiungendo due blocchi di monocristallo N su due facce di un monocristallo di tipo P.

I terminali legati ai monocristalli laterali dello stesso tipo prendono rispettivamente il nome di emettitore e collettore mentre il terminale legato al monocristallo centrale prende il nome di Base.

II.4 - Funzionamento elettrico di un transistore tipo PNP.

Esaminiamo il funzionamento di un transistore di tipo PNP montato secondo lo schema in fig. 18.

Il circuito esterno è costituito da due circuiti separati, uno base-emettitore e l'altro collettore-emettitore aventi in comune il terminale emettitore.

- *Chiudiamo l'interruttore 1.*

La batteria V_c crea nel transistore un campo elettrico di ampiezza H_c orientato dal − al + all'esterno della batteria.

Questo campo rinforza l'azione del campo h_2 esistente nella giunzione B_2.

Gli elettroni della regione B non possono diffondersi verso la regione C e nello stesso tempo le cariche positive esistenti in C non possono diffondersi verso la regione B.

B_2 non conduce, la conduzione è bloccata.

- *Chiudiamo l'interruttore 2.*

La batteria V_B crea un campo elettrico fra le regioni B e A orientato esternamente alla batteria dal − al + di ampiezza H_B da B verso A.

Il campo H_B si oppone all'azione del campo interno h_1 esistente nella giunzione B_1 facilitando così la diffusione degli elettroni dalla regione B verso la regione A. La giunzione B_1 conduce.

Una grande quantità di cariche positive si sposta dalla regione A alla regione B.

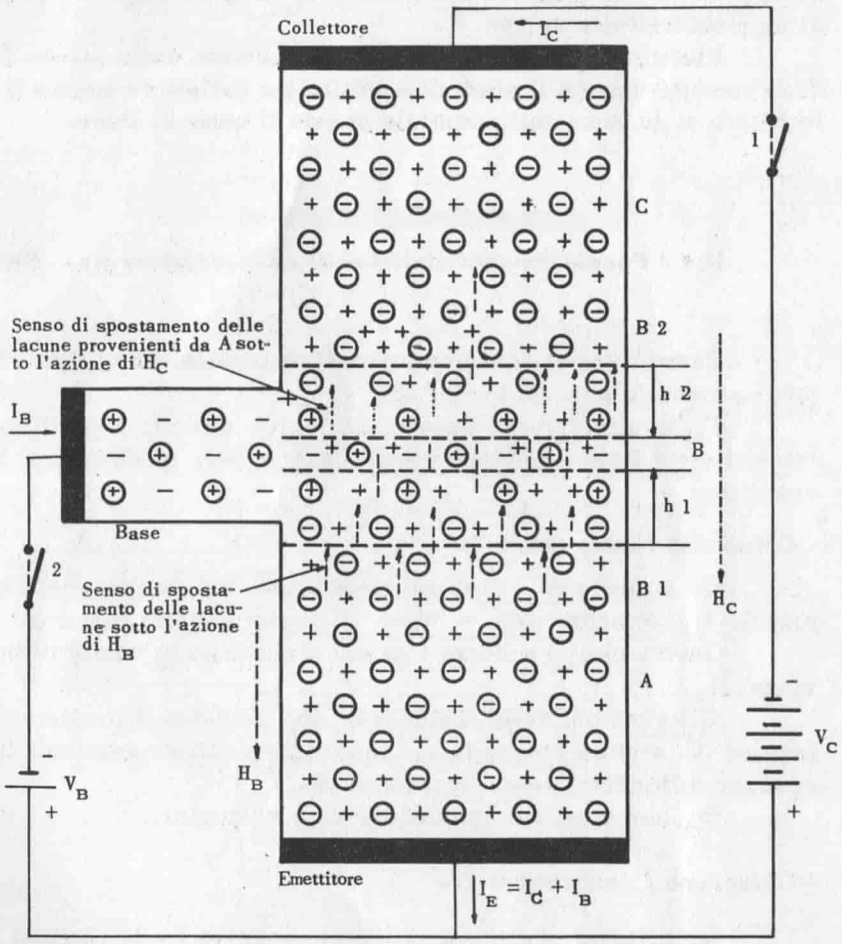


Fig. 18

Questa regione è molto sottile e scarsamente drogata, pertanto il numero degli elettroni liberi è piccolo; solo poche cariche positive della

regione A si ricombinano con gli elettroni della regione B. Si verifica allora che una quande quantità di cariche positive che si trovano ora nella regione B tendono a spostarsi verso la regione C sotto l'azione della campo H_c che ne facilita il passaggio. La giunzione B_2 conduce. Una corrente circola nel circuito V_c, questa corrente dipende dalla densità delle cariche positive che passano dalla regione A alla regione C.

Nel circuito di base alimentato da V_B circola una corrente di base che rifornisce di elettroni la regione B impoverita di elettroni liberi perduti nella combinazione con le cariche positive provenienti dalla regione A.

Si vede così che una corrente si può stabilire fra collettore ed emettitore solo quando una corrente circola fra base ed emettitore.

*

CAPITOLO III

PROCEDIMENTI TECNOLOGICI PER LA PRODUZIONE DEI MATERIALI SEMICONDUTTORI.

III.1 - Estrazione e lavorazione del germanio.

Il germanio è un metallo semiconduttore che si trova in natura combinato con molti altri minerali sotto forma di solfuri. Industrialmente viene ricavato quasi esclusivamente dai minerali residui dell'estrazione dello zinco.

Il processo inizia dalla blenda, minerale contenente lo zinco come solfuro; per combustione si ottiene l'ossido di zinco più altri ossidi contenuti nel minerale. Gli ossidi vengono calcinati e ridotti con carbone, da questa operazione si ricava lo zinco più dei residui contenenti altri minerali fra cui il germanio.

Trattando questi residui con acido Cloridrico si isola mediante filtrazione e distillazione frazionata il tetracloruro di germanio $GeCl_4$.

La distillazione frazionata, si basa sui differenti valori della temperatura di ebollizione dei componenti di un miscuglio liquido, per cui è possibile, ad una determinata pressione, evaporare e condensare separatamente i componenti, a mano a mano che la temperatura raggiunge i punti di ebollizione dei singoli composti.

Il punto di ebollizione del $GeCl_4$, 83,1° C, è sufficientemente alto rispetto a quello dei cloruri di elementi contenuti nel miscuglio. Non è quindi difficile separare il $GeCl_4$ ripetendo più volte l'operazione fino a raggiungere la massima purezza chimica.

Il biossido di germanio GeO_2 si ottiene successivamente mediante idrolisi del $GeCl_4$.

III.2 - Riduzione del biossido di germanio.

Il biossido di germanio si riduce in un forno elettrico tubolare a resistenza fig. 19 in atmosfera fluente d'idrogeno ben purificato ed essiccato.

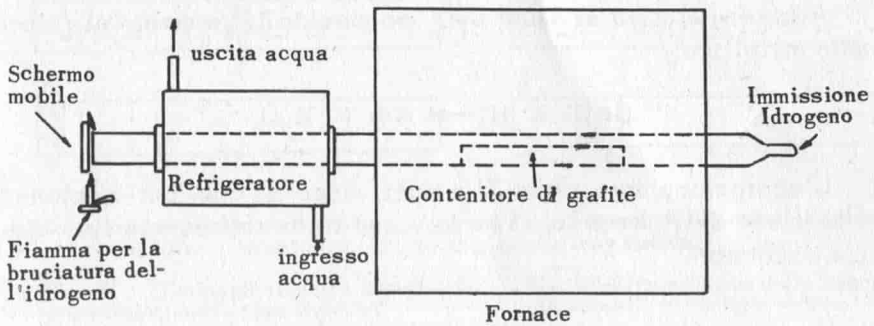


Fig. 19 - Forno per la riduzione del biossido di germanio a germanio metallico.

Schematicamente il forno è costituito da un tubo di quarzo nel quale circola una corrente di idrogeno.

Nella parte centrale si trova l'elemento riscaldante che comprende il regolatore automatico di temperatura.

La polvere di GeO_2 viene posta in una navicella di grafite purissima, fig. 20 oppure di quarzo ed il tutto viene inserito nel forno. Prima di iniziare il riscaldamento del forno si fa circolare in esso del gas inerte (azoto) per circa 10'; dopo di che si immette idrogeno e si porta la temperatura del forno a 650° C.

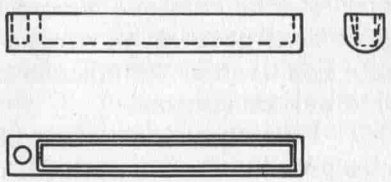


Fig. 20 - Contenitore di grafite.

A questa temperatura il biossido di germanio GeO_2 si riduce in monossido di germanio GeO:

$$GeO_2 + H_2 \rightarrow GeO + H_2O \quad .$$

In questa prima fase avviene il grosso della riduzione.

Il processo dura circa due ore ed in questo periodo si nota sulla superficie interna del tubo di quarzo un sottile velo di vapore acqueo che indica il normale svolgersi della reazione.

Terminata la prima fase la temperatura del forno viene elevata a 1100° C, superando velocemente la temperatura di 710° C poiché nell'intorno di questa temperatura si verifica una notevole perdita per sublimazione del monossido con conseguente abbassamento del rendimento di riduzione.

Alla temperatura di 1100° C il monossido di germanio si riduce a germanio metallico:

$$GeO + H_2 \rightarrow Ge + H_2O \quad .$$

L'operazione dura circa 30 minuti, dopo di che, pur mantenendo la circolazione dell'idrogeno, il forno viene fatto raffreddare fino a temperatura ambiente.

III.3 - Purificazione del germanio per via fisica.

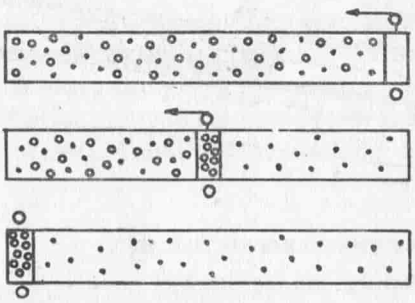
Il germanio metallico ottenuto dalla riduzione del GeO pur essendo chimicamente puro non è adatto per la costruzione di diodi o transistori perché contiene ancora un grado elevatissimo di impurità, che anche se sono presenti in minime tracce qualitativamente e quantitativamente non dosate, influiscono svantaggiosamente sulle proprietà del germanio semiconduttore.

Per ottenere germanio il più vicino possibile a quello intrinsicamente puro si ricorre a metodi di purificazione per via fisica. Uno di questi metodi, largamente impiegato nelle industrie, è il metodo di purificazione per zone.

Questo metodo consiste nel far passare una serie di zone fuse lungo il lingotto da purificare. Esso è basato sul fatto che le impurità più nocive sono in gran parte solubili nella fase liquida, mentre altre sono più solubili nella fase solida. Pertanto se in un lingotto di germanio si porta a fusione una piccola zona e questa viene spostata lentamente

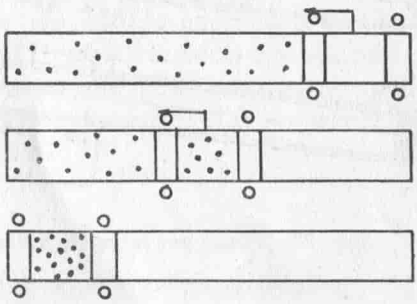
fig. 21, le impurità più solubili nella fase liquida, vengono trattenute nella fase liquida e portate all'altra estremità del lingotto. Allo spostamento delle impurità verso la zona fusa contribuisce anche il germanio che con il passaggio dallo stato fuso (958° C) allo stato solido tende a formare cristalli con legami covalenti di soli atomi di Ge.

Sullo stesso principio si basa l'eliminazione delle impurità che hanno maggior solubilità nella fase solida fig. 22.



ooo Impurezze più solubili nella fase liquida.

Fig. 21 - Eliminazione delle impurità più solubili nella fase liquida.



• • • Impurezze più solubili nella fase solida.

Fig. 22-Eliminazione delle impurità più solubili nella fase solida.

La purificazione per fusione per zone viene eseguita in un forno a induzione composto da un tubo di quarzo trasparente intorno al quale sono disposte sei bobine percorse da corrente a radiofrequenza fig. 23. Il tubo di quarzo è leggermente inclinato in modo che il gas inerte, generalmente azoto, immesso dalla parte superiore del tubo, costituisca un tampone per l'aria che tenta di entrare dalla parte bassa del tubo.

Mediante un tirante la navicella viene fatta scorrere lentamente lungo il tubo di quarzo, in modo che quando una parte del lingotto di germanio da purificare viene a trovarsi sotto il campo di una delle bobine a radiofrequenza, questa parte fonde, perché impura e quindi fortemente conduttrice, a causa delle correnti di Foucault che si generano in essa. Con l'avanzare della navicella la zona fusa si sposta lungo il lingotto trascinandosi dietro le impurità.

Con l'aumentare del numero dei passaggi di zone fuse il grado di purificazione aumenta come mostrano le varie fasi indicate in figura 24.

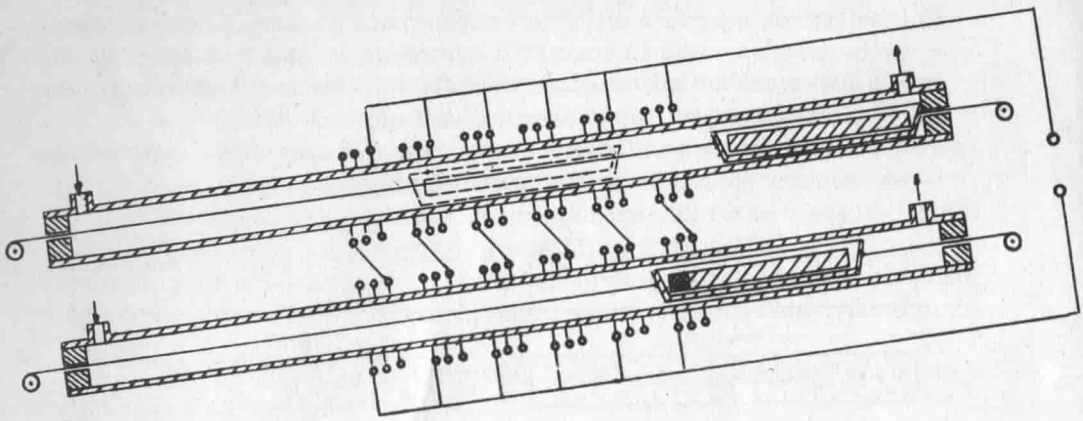


Fig. 23 - Forno per la purificazione del germanio per via fisica.

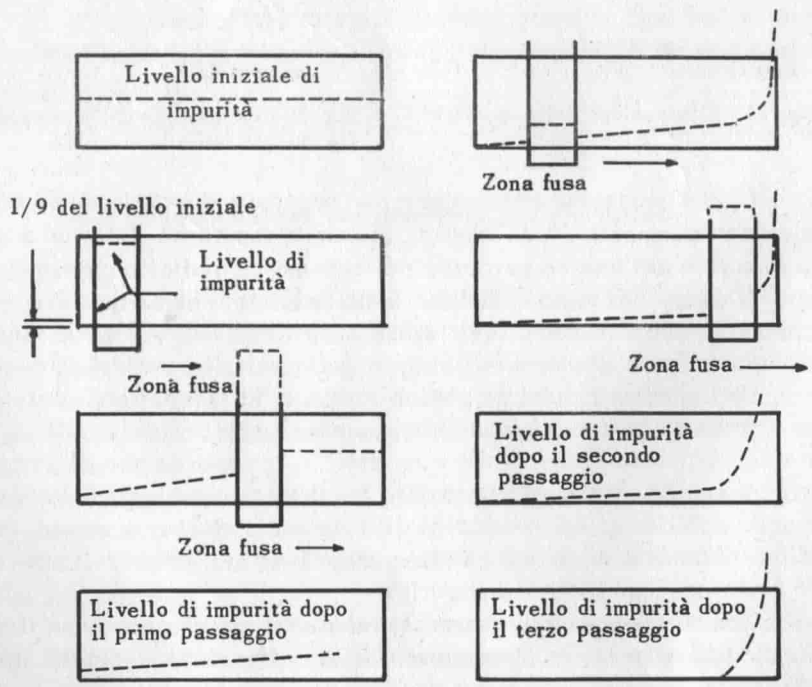


Fig. 24 - Variazione del livello di impurità contenuto nel lingotto con il successivo passaggio della zona fusa.

Con questo procedimento di purificazione le impurità contenute nel germanio si riducono a meno di una parte su 100 milioni.

Il grado di purezza raggiunto viene controllato poi con misure di resistività.

Con questo procedimento la resistività del germanio, inizialmente del valore di circa 0,4 $\Omega \cdot cm$ raggiunge un valore di circa 80 $\Omega \cdot cm$.

Il materiale così ottenuto prende il nome di *germanio intrinseco*. Esso ha però struttura policristallina e può essere usato solo per la costruzione di diodi a contatto puntiforme. Per gli elementi a giunzione occorre orientare i singoli cristalli elementari secondo uno stesso indice di Miller in modo da ottenere una struttura monocristallina avente tutti i singoli atomi legati in modo covalente.

III.4 - Riduzione del germanio intrinseco a Monocristallo.

Il metodo più usato per ottenere il monocristallo è quello, cosiddetto, a *tiraggio*. Esso consiste fig. 25 nell'immergere ed estrarre, ad una conveniente velocità, un monocristallo di germanio in un crogiolo contenente germanio alla temperatura di fusione, di 958° C, rigorosamente controllata. A mano a mano che il monocristallo originario si allontana dalla superficie della massa fusa, sulla parte inferiore ed al contorno del monocristallo si fissano via via nuovi atomi di germanio facendo crescere così la fase solida a spese di quella liquida. Data la lentezza di questo processo di tiraggio, se il gradiente di temperatura al confine fra le due fasi è abbastanza piccolo, gli atomi che vi partecipano si orientano secondo lo stesso indice di Miller del monocristallo originario.

Per attuare le migliori condizioni di formazione del monocristallo è opportuno dare un movimento continuo di rotazione al crogiolo ed imprimere all'asta un movimento di rotazione in senso inverso.

L'operazione di tiraggio deve svolgersi in ambiente chiuso sotto vuoto spinto ed in atmosfera di gas inerte. Il riscaldamento del crogiolo può essere ad alta frequenza o a resistenza elettrica. Il sistema di riscaldamento a resistenza elettrica richiede un maggior tempo, rispetto al sistema ad induzione, per portare a fusione una stessa massa di germanio, ma in compenso richiede sistemi di controllo e di regolazione della temperatura più semplici e più sensibili.

Drogando opportunamente la massa fusa con impurità di tipo trivalenti o pentavalenti si possono ottenere direttamente lingotti di germanio monocristallino di tipo P o di tipo N.

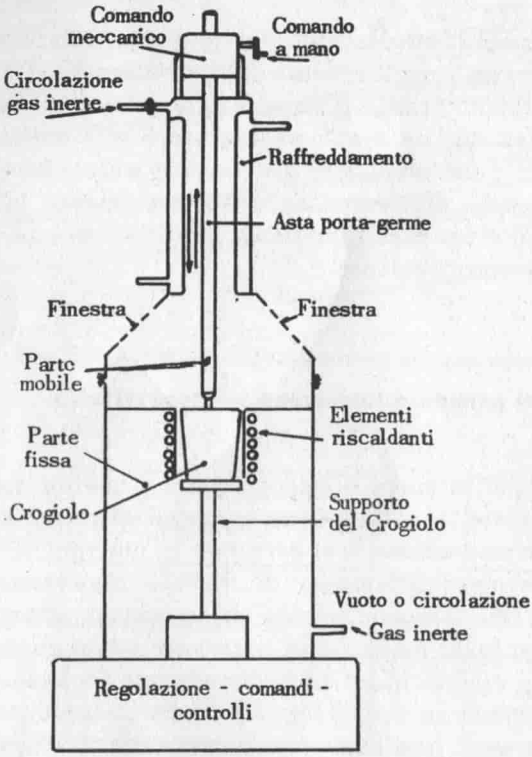


Fig. 25 - Dispositivo schematico di accrescimento del monocristallo.

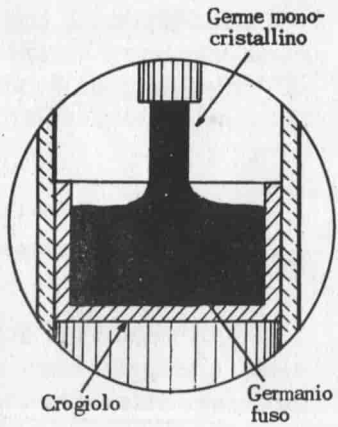


Fig. 25 bis - Particolare del dispositivo di riduzione a monocristallo.

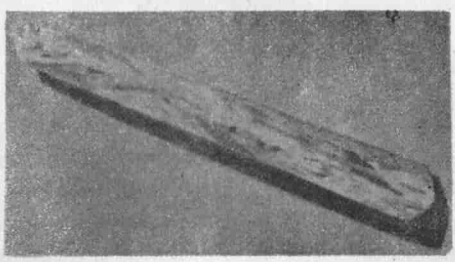


Fig. 26 a

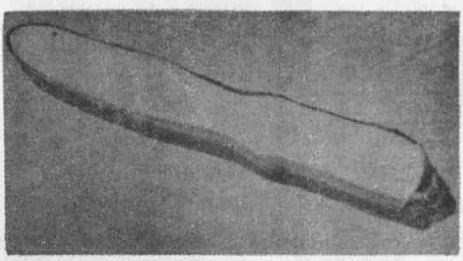


Fig. 26 b

La fig. 26 a e b mostra rispettivamente un pezzo di lingotto policristallino ed uno monocristallino.

III.5 - Formazione delle piastrine di materiale semiconduttore monocristallino.

La sbarretta di materiale semiconduttore monocristallino di tipo n o di tipo p, ottenuta con i procedimenti precedentemente descritti, viene successivamente tagliata in piastrine sottili mediante una sega circolare a denti diamantati.

Queste piastrine di materiale seconduttore vengono rettificate in modo da avere superfici lisce e parallele, dopo di che subiscono una prima selezione mediante la misura di resistività e della costante di Hall.

Dopo queste operazioni le piastrine vengono ulteriormente suddivide in minuscole piastrine quadrate di dimensioni volute.

Le piastrine così ottenute sono sottoposte a lavaggio chimico e a successiva essiccazione; vengono quindi sistemate e ordinate in forme speciali o contenitori per essere ulteriormente controllate e selezionate.

Per la manipolazione di queste minuscole piastrine viene impiegata una speciale pinzetta ad aspirazione costituita da un ago ritorto, cavo all'interno, collegato ad un tubo di gomma che fa capo ad un aspiratore. La piastrina viene quindi sollevata e trattenuta dalla pinzetta mediante aspirazione.

III.6 - Misure sui materiali semiconduttori.

Le misure più importanti da effettuare su un materiale semiconduttore sono:

1) *La misura della resistività*
2) *La misura della concentrazione dei portatori di carica effetto Hall.*

- *Misura della resistività.*

Esistono diversi metodi di misura della resistività di un elemento semiconduttore monocristallino, fra questi quello più comunemente usato è il metodo a quattro punte di contatto, fig. 27a).

L'apparecchio mostrato in figura viene poggiato con le quattro punte sulla superficie perfettamente piana del semiconduttore; fra le punte esterne viene fatta fluire una corrente di valore noto, sulle punte interne si legge con un voltmetro il valore della caduta di tensione.

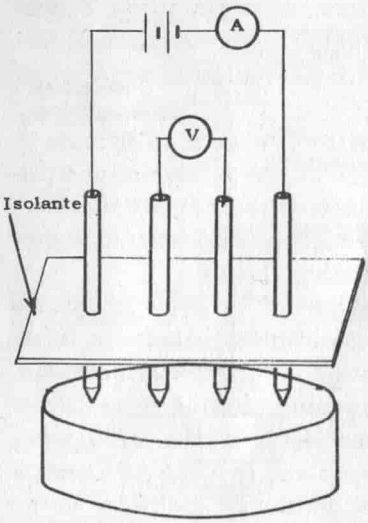


Fig.27a)-Misura di resistività col metodo a 4 punte.

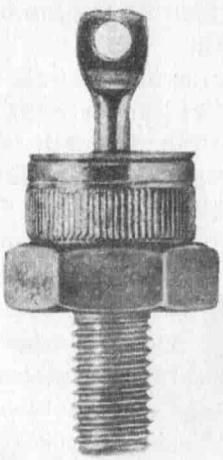


Fig.27b)-Diodo rettificatore G.E. tipo A 40 F da 20A-50V.

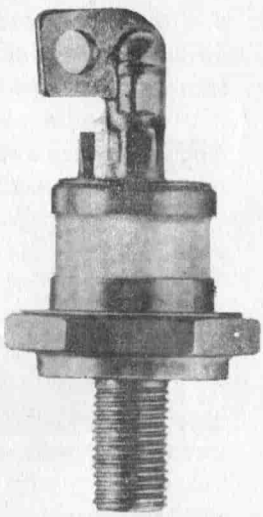


Fig.27c)-Diodo rettificatore G.E. con giunzione a doppia diffusione tipo A 70 da 100 A-1200 V.

Se le punte di contatto sono equidistanti fra loro ed il loro diametro è piccolo rispetto alla distanza S assunta il valore della resistività ρ è dato dalla formula:

$$\rho = \frac{V}{I} 2\pi S$$

dove ρ = ohm · cm se I è misurato in ampere, V in volt e S in centimetri.

Il valore della resistività di un materiale semiconduttore varia fortemente con la temperatura, il diagramma in fig. 28 mostra, in scala logaritmica, la variazione della resistività del germanio e del silicio in funzione della temperatura espressa in ° C.

- *Misura dell'effetto Hall.*

La misura dell'effetto Hall permette di determinare se la conducibilità del semiconduttore è di tipo n o di tipo p.

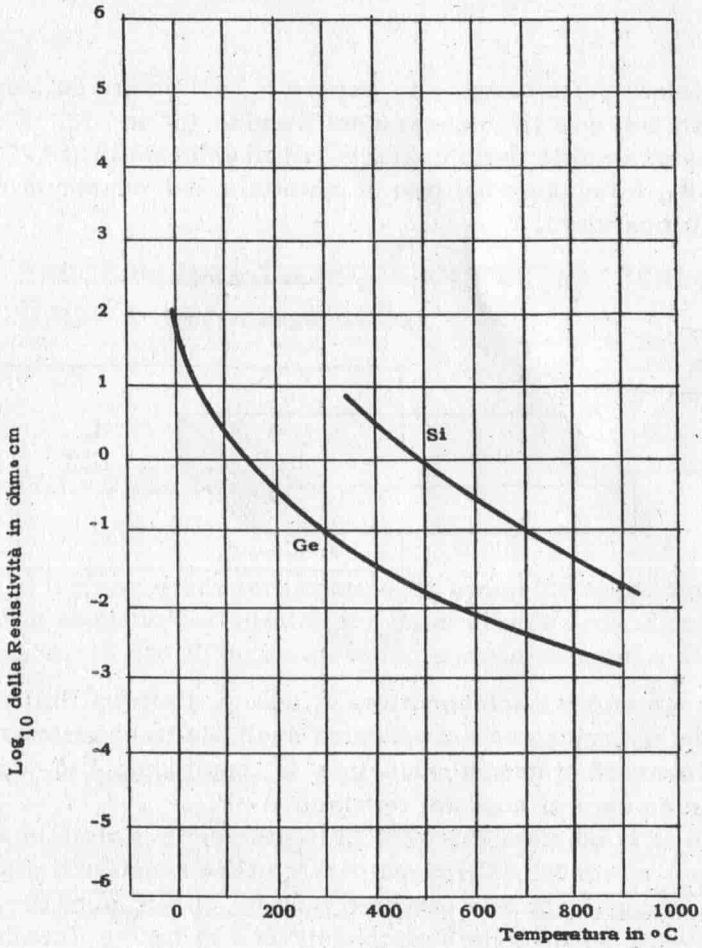


Fig. 28

Consideriamo un provino di materiale semiconduttore disposto come in fig. 29 secondo gli assi x y z.

Se immettiamo nel prototipo seconda la direzione x una corrente I_x ed applichiamo secondo la direzione y un campo magnetico Hy ai capi dei terminali A-B si produce una tensione Vz.

Il valore della differenza di potenziale in volt è data dall'equazione:

$$V_z = \frac{10^{-8} R_H I_x H_y}{d}$$

ove I_x è il valore della corrente in ampere, H_y è il valore del campo magnetico in Oersted, d è la larghezza del provino in un R_H è una costante di proporzionalità detta costante di Hall espressa in cm^3/Coulomb. Il valore di R_H è funzione del tipo di materiale, del contenuto di impurità, e della temperatura.

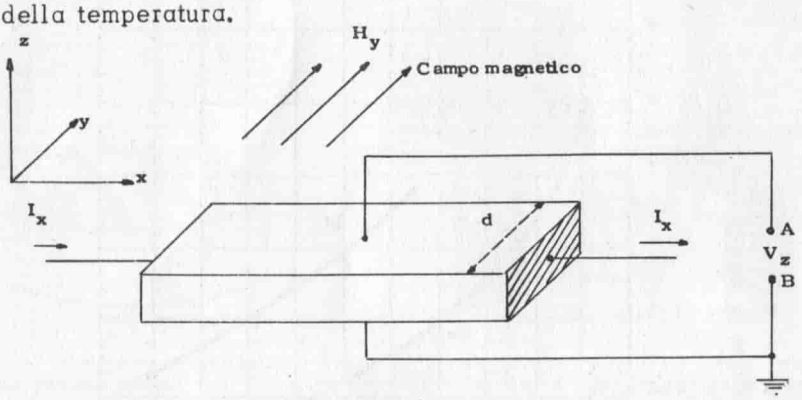


Fig. 29

In un materiale semiconduttore di tipo n l'effetto Hall si verifica a causa della deviazione del percorso degli elettroni portatori di carica trasversalmente al campo magnetico H_y applicato. Ciò causa una d.d.p. diversa da zero ai capi dei terminali A - B.

Sotto le condizioni mostrate in figura per un materiale semiconduttore di tipo n (conducibilità mediante cariche negative o elettroni) il terminale A assume polarità negativa rispetto al terminale B.

Se invece il materiale semiconduttore è di tipo p (conducibilità mediante cariche positive o lacune) il terminale A assume polarità positiva rispetto al terminale B.

Mediante questa misura è possibile quindi determinare se un materiale semiconduttore è di tipo n o di tipo p.

La misura dell'effetto Hall si presta inoltre per selezionare fra materiali semiconduttori di uno stesso tipo quelli aventi lo stesso valore di costante di Hall e quindi le stesse caratteristiche.

*

CAPITOLO IV

PROCEDIMENTI TECNOLOGICI PER LA PRODUZIONE DEI DIODI E DEI TRANSISTORI.

IV.1 - Diodo a punta.

E' il primo diodo rettificatore, in ordine di tempo, che è stato ideato dopo la scoperta dell'elettronica dello stato solido. Esso è costituito, come mostra la fig. 30 da un elettrodo a punta di bronzo-fosforoso detto

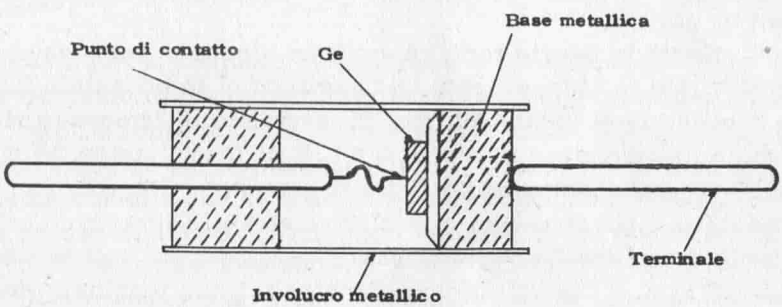


Fig. 30

baffo di gatto in contatto con una piastrina di materiale semiconduttore tipo N di germanio o di silicio della superficie di circa 1 mm² e di po-

chi decimi di mm di spessore. Sia la piastrina di materiale semiconduttore che il *baffo di gatto* fanno capo a due terminali solidali con l'involucro di vetro che racchiude il tutto.

Il controllo metallo-semiconduttore acquista caratteristiche rettificanti mediante impulsi di corrente applicati al diodo in senso inverso, cioè collegando il polo negativo applicato al terminale corrispondente al contatto metallico ed il polo positivo a quello corrispondente al semiconduttore di tipo N.

Questi impulsi producono delle variazioni permanenti delle proprietà elettriche del semiconduttore nel contatto, dovute in parte al trattamento superficiale del semiconduttore ed in parte al materiale metallico usato per il contatto puntiforme.

Il valore della capacità di contatto di questi diodi è molto piccolo rispetto ai diodi del tipo a giunzione, essi pertanto trovano impiego prevalentemente in circuiti a radiofrequenza ed in circuiti impulsivi di piccola potenza, nei ricevitori radio e TV come rivelatori, miscelatori, discriminatori.

I diodi al silicio a punta di contatto, trovano principalmente impiego come elementi di miscellazione a basso fattore di disturbo per UHF.

- ***Diodi a giunzione per lega.***

Questa tecnica viene normalmente impiegata per la fabbricazione di diodi per impiego nel campo delle basse frequenze e per diodi rettificatori di potenza.

Secondo questa tecnica su di un blocco di germanio, che supponiamo di tipo n, viene posta una pasticca di indio solido fig.31 dopo di che il tutto viene posto in forno, in atmosfere di idrogeno e riscaldato fino ad una temperatura di circa 500° C. La fase liquida del metallo indio penetra di una certa quantità entro il germanio, fig. 32, che durante il successivo raffreddamento cristallizza secondo il reticolo cristallino originario, lasciando a contatto con il substrato un sottile strato drogato di tipo p fig. 33 e quindi una giunzione. I due terminali vengono collegati al diodo mediante saldatura a stagno fig. 34.

I diodi così ottenuti subiscono poi un attacco acido in modo da eliminare eventuali ossidi formatisi nei pressi della giunzione durante l'operazione di diffusione.

Dopo queste operazioni i diodi vengono fissati nei contenitori e chiusi ermeticamente in modo da eliminare che eventuali tracce di umidità possano col tempo alterarne le caratteristiche di funzionamento.

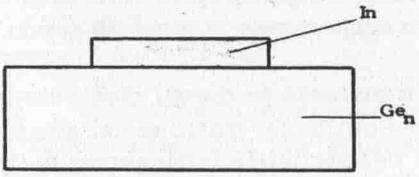


Fig. 31

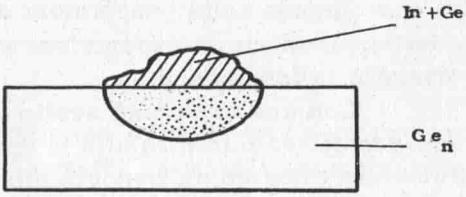


Fig. 32

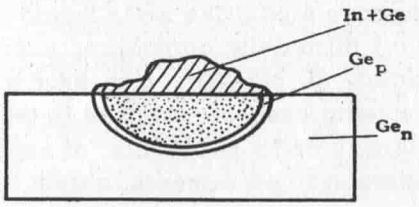


Fig. 33

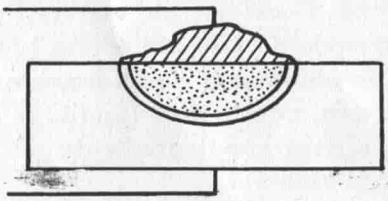


Fig. 34

- *Diodi a giunzione per accrescimento.*

I diodi di questo tipo offrono il vantaggio di avere un più basso valore di capacità di collettore C_c rispetto ai diodi a giunzione per lega.

Questa bassa capacità di collettore è ottenuta non tanto con la riduzione dell'area di giunzione, quanto con quella particolare distribuzione di impurità nella regione di base adiacente al collettore, dalla quale prende il nome di giunzione graduale, in contrapposto alla giunzione ripida, quale è quella che si ottiene nel procedimento per lega.

Il procedimento tecnologico per ottenere in un monocristallo, durante la sua formazione, una serie di strati alternativamente n e p, di spessore dato e separati da giunzioni con le caratteristiche sopracitate inizia da una fusione di metallo semiconduttore puro, per esempio germanio, drogato con calcolate quantità di impurezze donatrici ed accettrici, per es. antimonio e gallio, aventi coefficienti di segregazione differenti e variabili in un certo campo della velocità di crescita del cristallo.

Il coefficiente di segregazione di una impurezza, dato dal rapporto fra la percentuale di impurezza incorporata nella fase solida e la percentuale presente nella fase liquida, è una funzione del gradiente di temperatura attraverso la superficie di separazione fra le due fasi, gradiente che dipende dalla temperatura di fusione nell'immediata vicinanza di questa superficie di separazione e dalla dispersione di calore lungo il cristallo in formazione.

Con una opportuna scelta delle grandezze in gioco, cioè potenza di riscaldamento fornita alla fusione e velocità di trazione del seme, è possibile ottenere un monocristallo con conducibilità intrinseca di tipo i, nel quale le impurezze donatrici e accettrici si compensano nei loro effetti come apportatrici di cariche negative e positive nella banda di conduzione. Facciamo ora variare l'una o l'altra delle grandezze sopracitate in modo da fare aumentare la velocità di crescita, per es. diminuendo la potenza di riscaldamento: in questo caso si abbassa la temperatura media della fase liquida in vicinanza della superficie di separazione, diminuisce il gradiente di temperatura ed aumenta quindi la velocità di crescità.

Poiché nel caso considerato la variazione del coefficiente di segregazione dell'antimonio è maggiore rispetto all'indio, ed è anche positiva, l'impurezza donatrice prevale e conferisce alla sezione di cristallo tirato in queste condizioni una conducibilità di tipo n. Se si aumenta la potenza di riscaldamento al di sopra del valore corrispondente alla conducibilità intrinseca, diminuisce la velocità di crescita e per effetto della variazione della velocità di segregazione dell'antimonio, maggiore in senso negativo rispetto all'indio, questa impurezza accettrice prevale e conferisce caratteristiche di conducibilità di tipo p alla sezione di cristallo.

Durante le variazioni della velocità di crescita nell'uno o nello altro senso, si vengono perciò a formare delle giunzioni p-n e n-p rispettivamente, tanto più ripide quanto più rapida è stata la variazione della velocità di crescita corrispondente.

Nel procedimento tecnologico queste fasi vengono attuate in sequenza facendo variare periodicamente a salti la potenza di riscaldamento del forno.

Regolando opportunamente la potenza media di riscaldamento e la durata del ciclo completo è possibile ottenere giunzioni p – n graduali.

Dal lingotto così ottenuto si ricavano un grande numero di barrette, ognuna provvista di giunzione.

Con questo sistema si costruiscono diodi con basso valore di capacità di giunzione e diodi di potenza con elevato valore di tensione inversa.

- *Diodi a giunzione per diffusione.*

I moderni diodi a giunzione vengono prodotti mediante drogaggio detto a diffusione che consiste nell'esporre l'elemento semiconduttore ai vapori della sostanza scelta come impurità. Questa penetra nel semiconduttore dando luogo ad uno strato di materiale semiconduttore di caratteristica diversa da quello di origine, la profondità del quale dipende dal trattamento e dalla temperatura alla quale è avvenuta la diffusione.

Le tecniche di diffusione hanno consentito di ottenere strati aventi un contenuto di impurità variabile con continuità.

E' possibile in tal modo avere strati con valori di resistività crescenti verso la giunzione in modo da ridurre la capacità di giunzione e nello stesso tempo aumentare il valore della tensione inversa di polarizzazione del diodo.

I diodi a giunzione diffusa, per le loro caratteristiche elettriche specifiche, trovano impiego in circuiti con frequenze di lavoro elevate ed in circuito di alimentazione come rettificatori di potenza.

- *Diodi rettificatori di potenza.*

In questi ultimi anni tecniche costruttive sempre più perfezionate hanno permesso la costruzione di diodi a giunzione di grande potenza adatti per erogare correnti dell'ordine delle decine e centinaia di ampere con tensioni inverse di cresta fino a circa 800 Volt in modo da rendere questi dispositivi particolarmente adatti come raddrizzatori di potenza a frequenza industriale apportando così notevoli vantaggi di ingombro, peso, rendimento e vita rispetto ai dispositivi fin'ora utilizzati.

Nei raddrizzatori a semiconduttore la caratteristica che si riesce ad ottenere è del tipo di quella in fig. 35, mentre un raddrizzatore ideale dovrebbe fare passare corrente in una direzione senza produrre alcuna caduta di tensione e non far passare la corrente nella direzione opposta qualunque sia la tensione ad esso applicata.

Dalla curva caratteristica si vede che nella direzione di conduzione diretta è necessario che sia applicata una tensione superiore ad un certo valore V_0 affinché la corrente assuma valori riguardevoli; il dispositivo inoltre presenta una certa resistenza serie R_s. Nella direzione opposta la resistenza non è infinita ed inoltre in vicinanza di una tensione V_r essa si riduce a valori bassissimi facendo crescere la corrente fino alla rottura del raddrizzatore.

Come abbiamo detto, affinché la corrente di conduzione diretta raggiunga valori considerevoli, è necessario che la tensione applicata al cristallo superi un determinato valore (V_0) il quale è legato

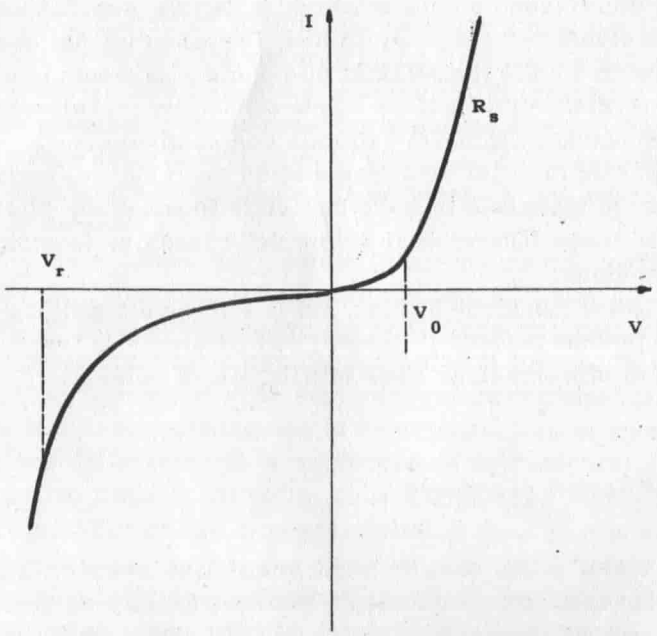


Fig. 35 - Caratteristica V – I di un raddrizzatore reale.

alla differenza di potenziale, di segno opposto, che è localizzata alla giunzione in assenza di polarizzazione; questa barriera a sua volta è tanto più elevata quanto maggiore è la differenza di energia fra la banda di valenza e quella di conduzione del semiconduttore; essa inoltre, dipende dal contenuto di impurità nelle zone n e p. Per tali ragioni il valore della tensione V_0 nella caratteristica in fig. 35 è maggiore nei diodi al silicio che nei diodi al germanio.

La resistenza serie R_s è costituita da due parti; la prima sta a rappresentare la caduta di tensione nel corpo del semiconduttore causata dal fluire della corrente; la seconda è introdotta dai contatti semiconduttore-metallo.

È ovviamente, di notevole importanza cercare di ridurre R_s a valori molto piccoli. La caduta di tensione nelle due regioni del cristallo dipende inoltre dalla resistività del materiale nelle due zone. Questa resistività si riduce fortemente durante la polarizzazione diretta della giunzione a causa dell'aumentata densità delle cariche mobili che ne deriva.

La riduzione delle resistenze dei contatti semiconduttore-metallo viene oggi in genere ottenuta interponendo fra metallo e semiconduttore (n o p) uno strato di materiale semiconduttore avente conducibilità del medesimo tipo ma fortemente drogato (n^+ o rispettivamente p^+). Il

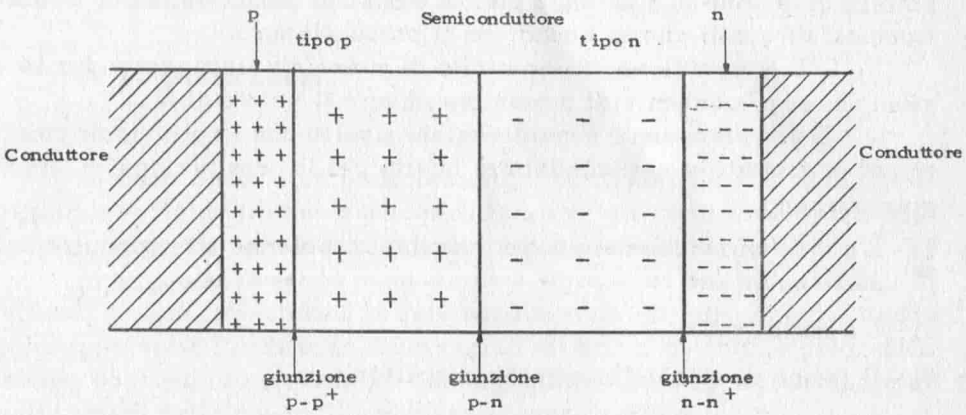


Fig. 36 - Schema di diodo rettificatore a semiconduttore a giunzione.

dispositivo assume lo schema come in fig. 36. In tali condizioni è molto facile creare contatti ohmici fra metallo e semiconduttore a bassa resistività; inoltre vengono introdotte nel cristallo due giunzioni, $n - n^+$ e $p - p^+$, le quali hanno il benefico effetto di ostacolare il passaggio dei portatori di carica in minoranza dal semiconduttore al metallo.

Quando il diodo viene polarizzato in senso inverso la differenza di potenziale che si stabilisce alla giunzione equilibra quasi interamente la tensione esterna applicata, poiché le cadute di tensione nelle due regioni del cristallo sono molto piccole dati i valori esigui della corrente. Lo spessore della giunzione cresce con la tensione applicata e con la resistività delle regioni n e p.

Il campo elettrico che accelera attraverso la giunzione le poche cariche che possono passare in condizioni di polarizzazione inversa, au-

menta con la tensione applicata per un verto valore V di essa le velocità raggiunte dalle cariche in movimento nella giunzione divengono sufficientemente elevate per rompere alcuni legami covalenti del reticolo ed originare fenomeni di valanga: la corrente nel diodo cresce allora rapidamente fino alla distruzione del dispositivo.

Volendo quindi costruire diodi che resistono ad elevate tensioni inverse, bisogna cercare di mantenere il campo alla giunzione per uno spessore opportuno, a valori prossimi ma inferiori a quello limite. Se la giunzione del cristallo è realizzata con passaggio repentino da un tipo di materiale all'altro, conviene adoperare semiconduttori ad elevata resistività in modo da aumentare lo spessore dello strato di giunzione di una data tensione. Se invece la giunzione è realizzata con passaggio graduale di un tipo all'altro di conducibilità è possibile farsi che il campo alla giunzione si mantenga pari al massimo ammissibile per spessori maggiori di quelli che si hanno con il primo sistema.

L'interposizione di uno strato di materiale intrinseco fra le regioni n e p consente di aumentare ancora il valore di V_r.

Dalle precedenti considerazioni risulta che le principali proprietà per un materiale semiconduttore adatto per la costruzione di diodi di potenza sono:

1) - La differenza di energia fra le bande di valenza e di conduzione del semiconduttore

2) - La resistività

3) - Il tempo di vita delle cariche minoritarie.

1) - Al crescere dell'energia necessaria per spostare un elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione, diminuisce il valore della tensione inversa per una data temperatura e quindi si innalza la temperatura massima di funzionamento del diodo; aumenta il valore di V_0.

Nel caso del germanio l'energia in questione è di 0,74 eV, il valore di V_0 è circa 0,2 V e la temperatura massima di funzionamento è circa 80° C. Per il silicio i valori corrispondenti sono 1,12 eV, V_0 = 0,5 V e 250° C.

2) - Al crescere della resistività del materiale, come si è accennato, cresce il valore di tensione inversa massima V_r e la resistenza serie R_s. Bisogna quindi scegliere un valore di compromesso fra le opposte esigenze nei riguardi di V_r e R_s.

3) - Il tempo di vita dei portatori di cariche minoritarie, deve essere scelto in modo da assicurare una efficiente densità di cariche mobili nel senso di conduzione diretta della corrente.

Le tecniche più usate per la costruzione di diodi rettificatori di potenza sono quelle della giunzione per lega, della giunzione per accrescimento e della giunzione per diffusione.

Quest'ultimo processo si va sempre più diffondendo perché consente una distribuzione uniforme delle impurità, con un passaggio graduale da un tipo all'altro di conducibilità, con il vantaggio di aumentare la tensione inversa di polarizzazione del diodo.

La fig.27b) e c) mostra la fotografia di due diodi al silicio prodotti con il processo a diffusione della General Electric.

IV.2 - Diodo Zener.

Il diodo Zener è un particolare tipo di diodo, ottenuto mediante una giunzione ripida fra due semiconduttori con un contenuto di impurità superiore a quelli dei diodi rettificatori di tipo normale.

In un diodo Zener la conduzione è dovuta ad uno spostamento di elettroni, i quali, trovandosi in determinato stato di energia nella banda di valenza, sotto l'influenza di un campo elettrico, di valore più o meno elevato, possono attraversare la banda proibita andando ad occupare un livello libero della banda di conduzione senza variare
il loro stato di energia. Analogamente elettroni della banda di conduzione possono occupare livelli apprezzabilmente liberi nella banda di valenza.

Questo fenomeno si verifica con bassi valori di tensione inversa e quindi per esigui spessori di giunzione. Sotto queste condizioni i portatori di cariche sono accelerati attraverso la giunzione senza dar luogo a rotture di legami covalenti. Si verifica pertanto in questo punto un rapido aumento di corrente inversa. Questo fenomeno non provoca la distruzione del dispositivo, come in un materiale dielettrico, ma permette un funzionamento normale in questa zona di Zener per un tempo indefinito.

Il nome di Zener ricorda il nome di C. Zener che nel 1934 notò per primo questo fenomeno nei dielettrici solidi.

Come abbiamo accennato l'effetto Zener si verifica solo per piccoli valori di tensione di polarizzazione inversa (fino a 5 Volt per il

silicio) mentre per valori di tensione superiori, a questo fenomeno si aggiunge quello dovuto alla rottura dei legami covalenti noto come effetto valanga. Data la contemporaneità di questi due fenomeni, in pratica si indica con il nome di ***diodo Zener*** la sommatoria di questi due fenomeni.

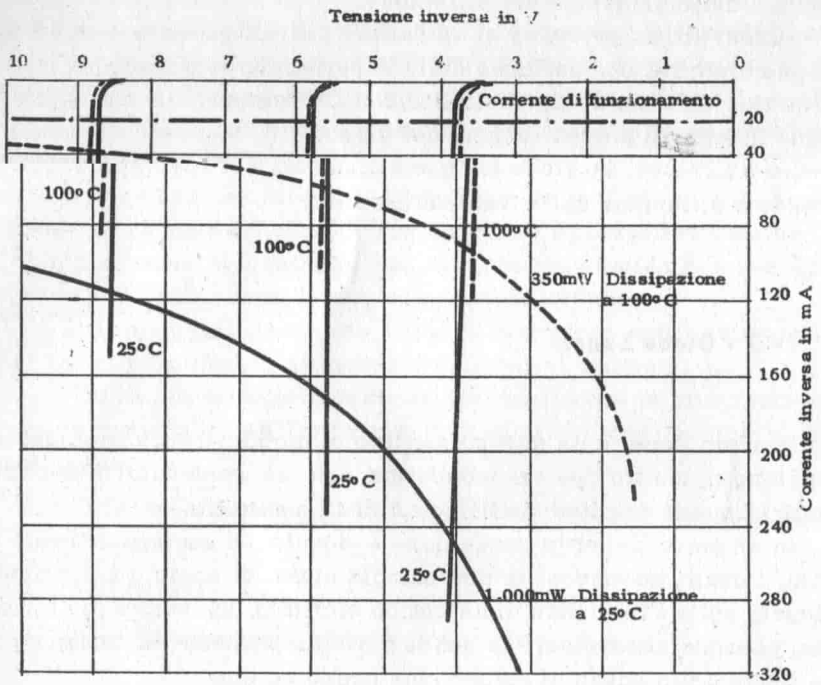


Fig. 37

La fig. 37 mostra alcune tipiche caratteristiche di diodi Zener con tensioni di rottura comprese tra 4 e 9 Volt.

Dal diagramma si notano facilmente i principali parametri che definiscono le proprietà di un particolare diodo Zener.

La prima e più importante di queste proprietà è la tensione nella regione di rottura. Questa tensione non è unica e di un valore fissato ma aumenta con l'aumentare della corrente inversa di lavoro; è chiaro pertanto che bisogna specificare il valore di corrente e di tensione corrispondente. Normalmente i costruttori fissano per un diodo un particolare

valore di corrente e ricavano in funzione della resistenza dinamica del diodo i diversi valori di tensione corrispondenti. La fig. 38 mostra un esempio della variazione della resistenza dinamica con il variare della tensione per alcuni tipi di diodi Zener.

Dal diagramma si nota come le curve caratteristiche raggiungano un valore minimo nell'intorno di un valore di tensione inversa di circa 7 V corrispondente al punto di normale funzionamento.

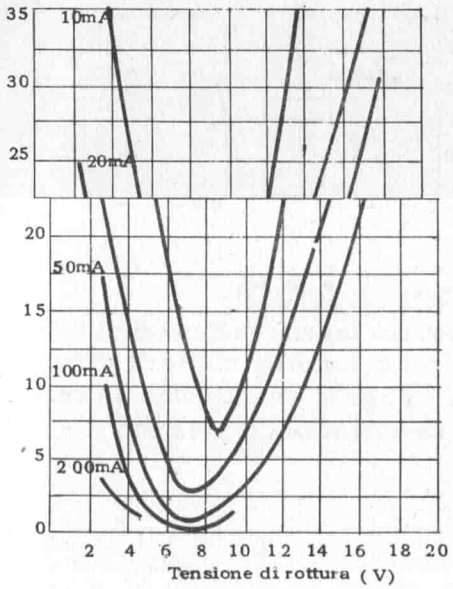


Fig. 38

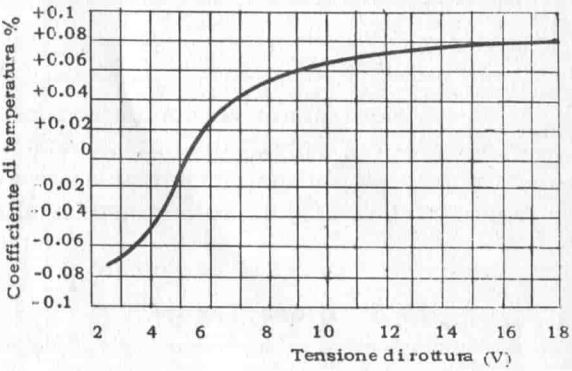


Fig. 39

Dalle caratteristiche di fig. 37 si vede inoltre che la tensione inversa di lavoro varia con il variare della temperatura di lavoro; per molte applicazioni è necessario pertanto tener conto di questa variazione. A tale scopo il diagramma in fig. 39 indica la variazione del coefficiente di temperatura di un diodo Zener in funzione della tensione di lavoro. Dal diagramma si vede come alla tensione di 5 V corrisponde un coefficiente di temperatura zero. Un coefficiente di temperatura zero può essere ottenuto collegando in serie due diodi Zener aventi coefficienti di temperatura di segno contrario.

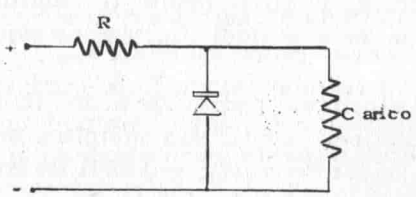


Fig 40

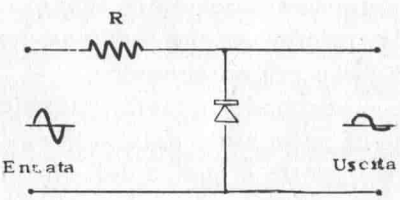


Fig 41

Sulle caratteristiche in fig.37 sono indicate infine le curve di massima dissipazione ammissibile in funzione della temperatura di lavoro.

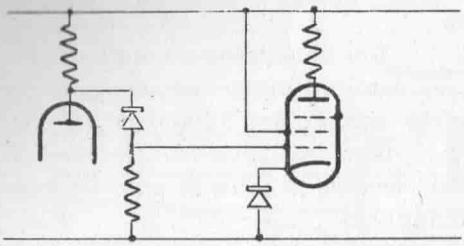


Fig. 42

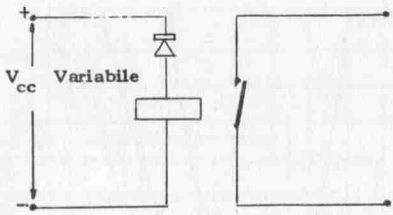


Fig. 43

I diodi Zener vengono utilizzati per realizzare: regolatori di tensione fig.40, circuiti tosatori di forme d'onda fig. 41, elementi di accoppiamento e di polarizzazione fissa di catodo in amplificatori in corrente continua fig.42, relè sensibili alle sovratensioni fig. 43 ecc.

IV.3 - Diodo Tunnel.

Il diodo Tunnel è un componente a due terminali contenente una giunzione p-n formata con materiali semiconduttori fortemente drogati rispetto ai normali diodi rettificatori a giunzione.

Il tenore di impurità contenuto nei materiali semiconduttori raggiunge infatti nel diodo tunnel il valore di $10^{19} \div 10^{20}$ atomi per cm^3 rispetto al valore di $10^{16} \div 10^{17}$ atomi per cm^3 contenuta in un diodo rettificatore normale.

L'elevato valore di impurità contenute nei due tipi di semiconduttore, provoca la formazione di una giunzione di spessore estremamente sottile (0,000001 cm) rispetto a (0,0001 cm) di un convenzionale diodo a giunzione. Questa differenza di spessore dà luogo al diverso funzionamento del diodo tunnel rispetto al diodo normale. Il confronto delle caratteristiche tensione-corrente dei due diodi, fig. 44, ne mostra il diverso comportamento.

Secondo la fisica classica un elettrone può scavalcare la barriera di potenziale esistente nella giunzione se la sua energia è superiore rispetto a quella della barriera. Questo concetto regola il flusso di

corrente ai capi di una giunzione di tipo convenzionale. Tuttavia, la teoria della meccanica quantistica dimostra che vi è una piccolissima ma finita probabilità che un elettrone avente un'energia insufficiente a scavalcare la berriera di potenziale possa, malgrado ciò, superarla, se il potenziale di barriera è sufficientemente piccolo senza apprezzabile dispendio di energia. Questo fenomeno detto *Tunnel* considerando come analogia l'elettrone che supera il potenziale di barriera servendosi di una galleria praticata nella stessa e quindi senza dispendio di energia, è la base del meccanismo che governa il flusso di corrente nel diodo.

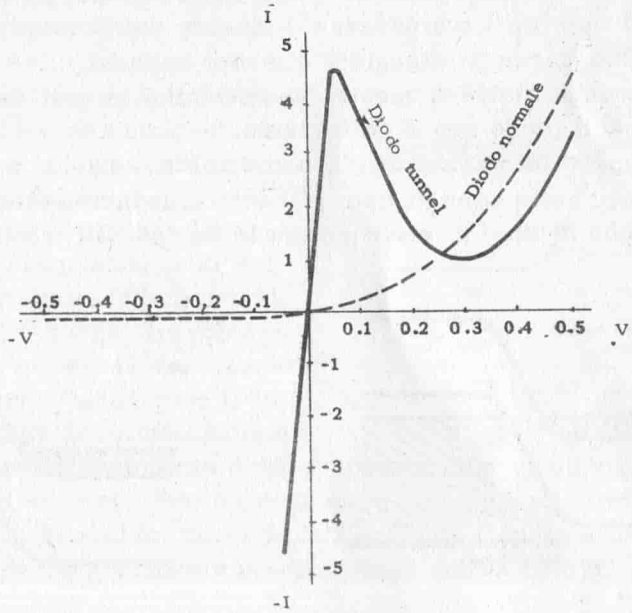


Fig. 44

La fig. 45 mostra il diagramma delle bande di energia di un diodo tunnel a giunzione senza polarizzazione esterna.

Le regioni tratteggiate rappresentano quegli strati di energia nelle bande di conduzione e di valenza occupate da elettroni.

Le linee trattegiate orizzontali indicano i livelli di energia occupati dagli elettroni in ambedue i lati della giunzione. Senza polarizzazione esterna le due linee tratteggiate orizzontali combaciano riducendosi ad un unica linea tratteggiata come mostra la figura. In queste condi-

zioni gli elettroni esistenti nella banda di conduzione passano dalla zona di tipo n alla zona di valenza di tipo p e gli elettroni esistenti nella banda di valenza passano dalla zona di tipo p alla zona di conduzione di tipo n. La grandezza di queste due correnti è indicata in figura con due frecce tratteggiate di senso opposto.

La sommatoria di queste due correnti è in ogni istante uguale a zero quando il diodo non è polarizzato.

Quando al diodo si applica una polarizzazione inversa, il livello di energia nella zona di tipo p subisce un incremento rispetto a quello della zona di tipo n come mostra la fig. 46. Gli elettroni contenuti

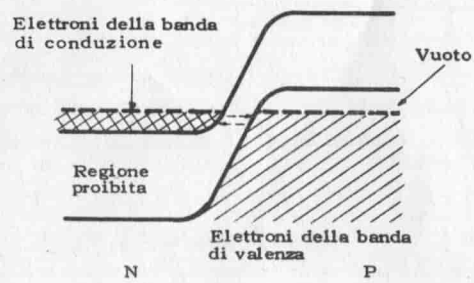


Fig. 45

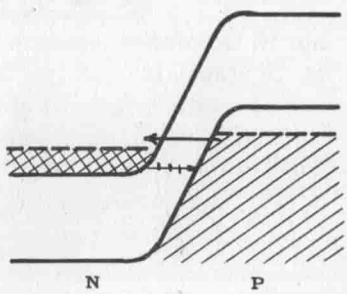


Fig. 46

nella zona p di valenza risultano ora separati dalla zona n di conduzione, solo dal sottilissimo spessore di giunzione. Ne deriva così un passaggio di corrente di elettroni dalla zona di tipo p alla zona di tipo n di valore maggiore di quella che si stabilisce in senso inverso. In questo caso la sommatoria delle due componenti è diversa da zero ed assume il senso indicato nella figura 46 con una freccia a tratto intero. Aumentando la polarizzazione inversa del diodo il valore di questa corrente aumenta secondo il tratto di caratteristica relativo al terzo quadrante della fig. 44.

Dalla fig. 44 deduciamo immediatamente che la corrente inversa aumenta rapidamente per piccoli valori di tensione inversa applicata. Ne risulta pertanto che, contrariamente ai diodi di tipo convenzionale il diodo tunnel possiede una conducibilità elevata quando è polarizzato in senso inverso.

Per piccoli valori di tensione di polarizzazione diretta il livello di energia nella zona di tipo p subisce un decremento rispetto a quello della zona di tipo n come mostra la fig. 47. In questo caso gli elettroni contenuti nella banda di conduzione di tipo n si oppongono attraverso la giunzione alla banda di valenza di tipo p priva di elettroni, mentre gli elettroni contenuti nella banda di valenza si oppone la zona proibita. Si ha così passaggio di corrente elettronica solo dalla banda di conduzione alla banda di valenza come indicato in fig. 47 dalla freccia a tratto pieno. Aumentando il valore della tensione di polarizzazione diretta, il valore della corrente diretta aumenta fino ad un valore massimo definito, poi decresce fino a raggiungere un valore minimo per poi aumentare di nuovo seguendo, come mostra la fig.44, l'andamento caratteristico di un diodo convenzionale polarizzato in senso diretto.

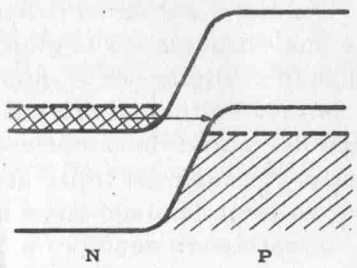


Fig. 47

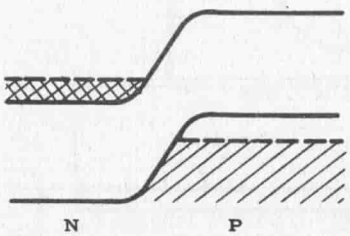


Fig. 48

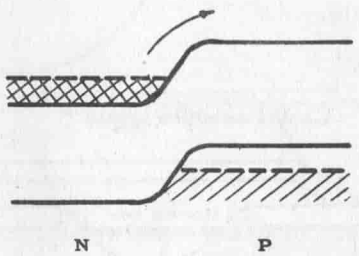


Fig. 49

Esaminando le figg. 47 e 48 si intuisce facilmente come il valore della corrente diretta possa subire, con l'aumentare della tensione, dapprima un aumento e poi una diminuzione fino a raggiungere un valore minimo; inoltre dalla 49 si vede facilmente come un ulteriore aumento

della tensione di polarizzazione diretta provochi di nuovo l'aumento del valore della corrente diretta secondo il principio di funzionamento di un diodo polarizzato in senso diretto dovuto al fenomeno di diffusione dei portatori minoritari nei due lati della giunzione.

Poiché nel diodo il fenomeno *tunnel* cioè il movimento delle cariche che attraversano la giunzione avviene alla velocità della luce, la frequenza di taglio non è quindi limitata dalla velocità dei portatori di cariche, ma soltanto dalla capacità interna della giunzione, dalla resistenza del materiale di cui esso è costituito e dalle capacità esterne del circuito. A causa del tratto di curva a resistenza negativa il diodo tunnel trova largo impiego come convertitore autoeccitato, come amplificatore a resistenza negativa e come elemento a caratteristica bistabile per memorie.

Caratteristiche costruttive.

La struttura di un diodo tunnel è estremamente semplice come mostra la fig. 50. Il diodo vero e proprio è costituito da una piccolissima goccia di materiale di tipo n (o tipo p) fortemente drogato unito con giunzione ad uno strato di materiale di tipo p (o tipo n), anch'esso fortemente drogato, fissato su di un supporto metallico che costituisce un terminale.

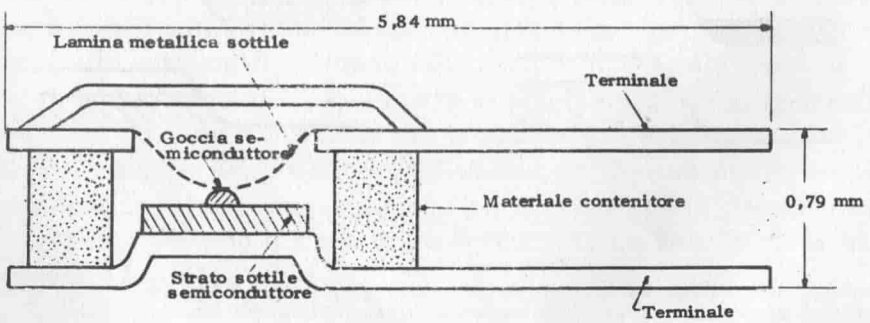


Fig. 50

L'altro terminale viene messo in contatto con la goccia di materiale mediante una lamina metallica sottile elastica solidale con il ter-

minale stesso. Le forme e le dimensioni dei terminali e dell'involucro sono fatti in modo da ridurre al minimo i valori di capacità e di induttanza parassite. Questo accorgimento ovviamente consente l'utilizzazione del diodo in un campo di frequenza più elevato.

I diodi tunnel possono essere costituiti da diversi tipi di materiale semiconduttore compreso il germanio ed il silicio. La scelta del tipo di materiale ha un fattore significativo nella determinazione dei parametri di funzionamento del componente.

Attualmente molti tipi di diodi tunnel sono costituiti utilizzando come materiale semiconduttore il germanio e l'arseniuro di gallio.

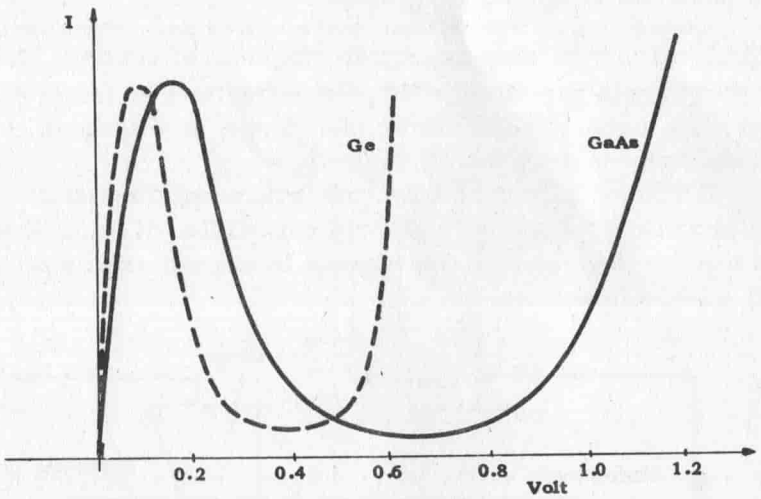


Fig. 51

La fig. 51 mette a confronto le caratteristiche tensione corrente di un diodo di germanio ed uno di arseniuto di gallio. Dall'andamento delle due curve caratteristiche si deduce che il diodo tunnel costituito di germanio si presta meglio per dispositivi ove si richiede un brevissimo tempo di salita e un basso rumore di fondo.

IV.5 - Transistore a punte.

Il transistore a punte, come il diodo rettificatore a punta, è il primo tipo di transistore che è stato realizzato. Esso è costituito da due

elettrodi metallici a punta, detti ***baffi di gatto***, in contatto con una piastrina di materiale semiconduttore di tipo N di germanio o di silicio della superficie di 1 mm^2 e di pochi decimi di millimetro di spessore. I due elettrodi a punta, di diametro molto sottile, distano fra loro di poche decine di micron e costituiscono, uno, l'elettrodo di collettore, e l'altro, quello di emettitore, mentre la piastrina di materiale semiconduttore funziona da base. Sia la piastrina che gli elettrodi di collettore e di emettitore fanno capo a tre terminali isolati fra loro e solidali con l'involucro che racchiude il tutto.

I contatti metallo-semiconduttore del collettore e dell'emettitore acquistano caratteristiche rettificanti mediante impulsi di corrente inversa applicati ai singoli elettrodi.

Questi impulsi producono delle variazioni permanenti delle proprietà elettriche del semiconduttore sul punto di contatto, dovute in parte al trattamento superficiale del semiconduttore ed in parte al materiale metallico usato per il contatto puntiforme; si ottengono così due giunzioni nell'intorno dei punti di contatto.

Il valore della capacità di collettore nei transistori a punta è molto piccolo, a causa della piccola superficie di giunzione, essi pertanto trovano impiego prevalentemente in circuiti oscillatori ed amplificatori ad alta frequenza.

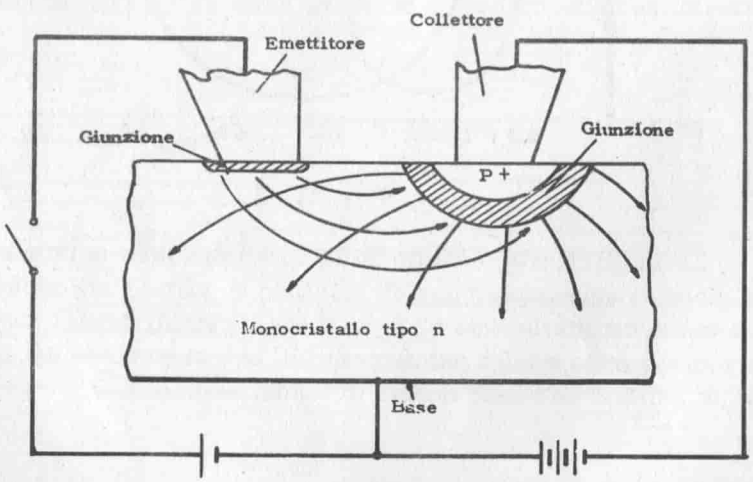


Fig. 52

La fig. 53 mostra uno schizzo molto ingrandito di un transistore a punta di tipo n.

La fig. 53 mostra un esempio di disposizione costruttiva di un transistore a punta con involucro metallico.

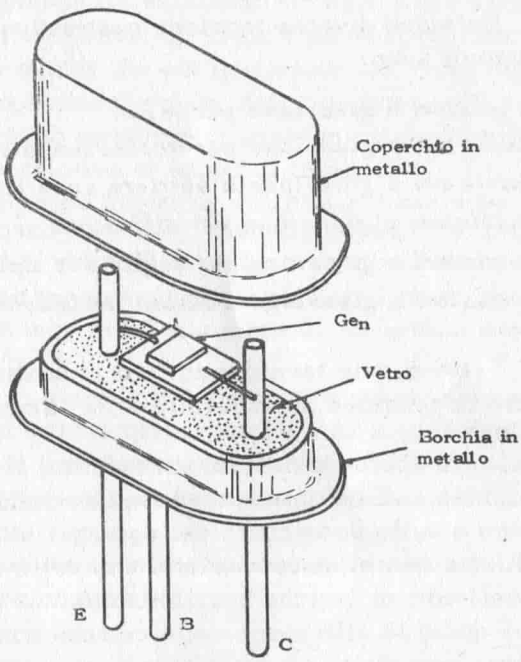


Fig. 53

Il progredire delle tecniche costruttive dei transistori a giunzione per le alte frequenze ha posto in disuso in questi ultimi anni questo tipo di transistore.

IV.6 - Transistori a giunzione.

Il transistore a giunzione rappresenta, rispetto al transistore a punta, un notevole progresso dal punto di vista della stabilità, dei procedimenti costruttivi e della potenza.

Come è stato detto in precedenza il transistore a giunzione è costituito da un monocristallo, composto di tre strati n-p-n o p-n-p nel

quale sono state create due giunzioni. Lo strato centrale costituisce la base mentre le due giunzioni, opportunatamente polarizzate funzionano da emettitore e da collettore.

Esistono diverse tecniche costruttive dei transistori a giunzione le principali sono:

1) *Transistori a giunzione per lega*
2) *Transistori a giunzione per accrescimento*
3) *Transistori a giunzione a barriera superficiale*
4) *Transistori a giunzione per diffusione.*
5) *Transistori a giunzione per diffusione tipo planar*
6) *Transistori a giunzione a strato intrinseco.*

Tutte queste tecniche tuttora in continua evoluzione mirano ad innalzare la tensione di collettore e la frequenza limite di lavoro del transistore.

Come abbiamo visto in precedenza, il funzionamento del transistore si basa sulla esistenza nei semiconduttori di due tipi di portatori di cariche e sulla possibilità dei portatori di cariche minoritarie, iniettati dall'emettitore, di controllare, una volta giunti al collettore, il flusso dei portatori di cariche maggioritarie.

Poiché la diffusione delle cariche minoritarie, dall'emettitore al collettore, avviene in un certo tempo, si verifica che quando il periodo del segnale applicato al transistore si avvicina al tempo medio di transito delle cariche minoritarie l'elemento transistore introduce distorsioni di fase e di ampiezza del segnale applicato all'entrata.

Un primo accorgimento, allo scopo di diminuire il tempo di transito e quindi di migliorare la risposta in frequenza, può essere quello di sfruttare la maggiore mobilità nei semiconduttori degli elettroni rispetto alle lacune; conviene pertanto utilizzare a questo scopo transistori a giunzione del tipo n-p-n.

Un altro accorgimento consiste nel ridurre la distanza fra emettitore e collettore. Tale riduzione provoca però necessariamente una diminuzione della tensione inversa massima ammissibile fra collettore e base.

Un altro fattore che limita la risposta in frequenza è la resistenza di base; essa è infatti comune ai circuiti di ingresso e di uscita.

La mancanza di isolamento fra i due circuiti di entrata e di uscita provoca una reazione nell'interno del transistore che ha lo stes-

so effetto della resistenza di catodo, non cortocircuitata per la c.a. da una capacità in un circuito con tubo elettronico.

Nel circuito di ingresso la resistenza di base viene a trovarsi in serie alla capacità emettitore-base; si viene così a costituire un filtro passa-basso. È evidente quindi che per aumentare la risposta in frequenza bisogna mantenere basso il valore della resistenza di base. Ciò si può ottenere aumentando lo spessore di base, soluzione che risulta in contrasto con le esigenze relative al tempo di transito.

Nel circuito di uscita la capacità collettore-base deve poter risultare di valore il più basso possibile risultando essa in parallelo al circuito di uscita. Poiché il valore della capacità di collettore è inversamente proporzionale alla tensione di collettore, ne deriva che la resistenza di base nelle vicinanze della giunzione di collettore deve essere la più alta possibile.

Concludendo si può pertanto affermare che per aumentare la risposta in frequenza di un transistore a giunzione è necessario che la base sia di spessore sottile, con elevata resistenza nelle vicinanze della giunzione base-collettore e con bassa resistenza nelle vicinanze della giunzione emettitore-base.

Esaminiamo ora brevemente le varie tecniche impiegate nella costruzione di transistori a giunzione.

1) Transistori a giunzione per lega.

La costruzione dei transistori a giunzione per lega segue la stessa tecnica già vista per la costruzione dei diodi dello stesso tipo.

La fig. 54 mostra la struttura di un transistore p-n-p le cui giunzioni sono state ottenute su una piastrina di materiale semiconduttore mediante procedimento per lega.

La fig. 55 mostra alcune fasi costruttive dei transistori Philips OC 74 e OC 26.

La fig. 56 mostra lo spaccato del transistore Philips OC 74.

La fig. 57 mostra lo spaccato del transistore Philips OC 26.

2) Transistori a giunzione per accrescimento.

I transistori a giunzione per accrescimento presentano il vantaggio di avere un valore di capacità di collettore minore di quella che si può ottenere in un transistore a giunzione per lega.

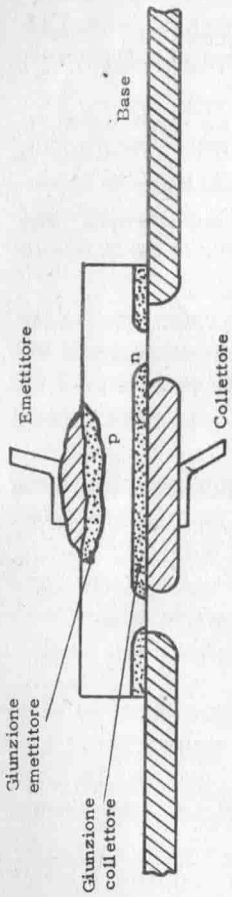


Fig. 54

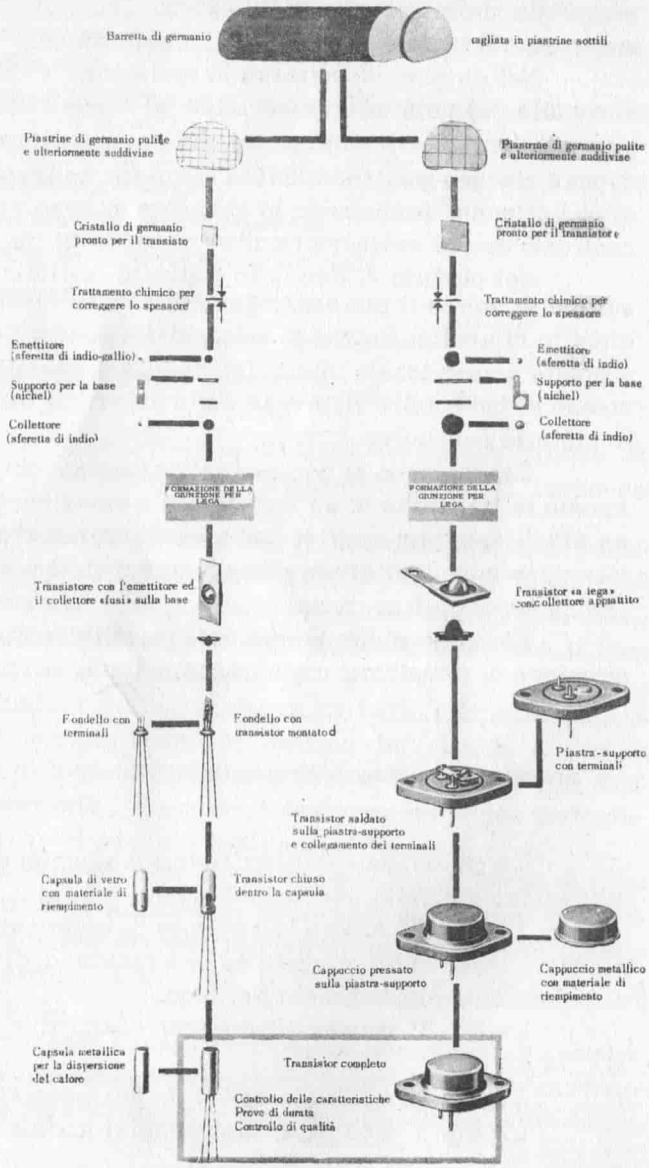


Fig. 55 - Alcune fasi costruttive del transistore Philips OC 74 e OC 26.

Il basso valore di capacità di collettore è ottenuto, nei transistori per accrescimento, dalla particolare distribuzione di impurità nella regione di base adiacente al collettore, dalla quale prende il nome di giunzione graduale, in contrapposto alla giunzione ripida che si ottiene nel procedimento per lega e che si cerca di ottenere, nei transistori per accrescimento, per la giunzione di emettitore.

Il procedimento tecnologico è lo stesso di quello descritto per la costruzione dei diodi dello stesso tipo. Regolando opportunamente la potenza media di riscaldamento del forno di tiraggio del monocristallo e la durata del

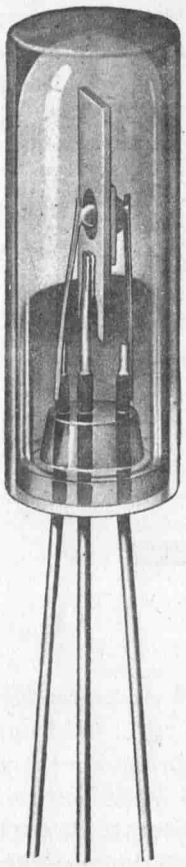


Fig. 56

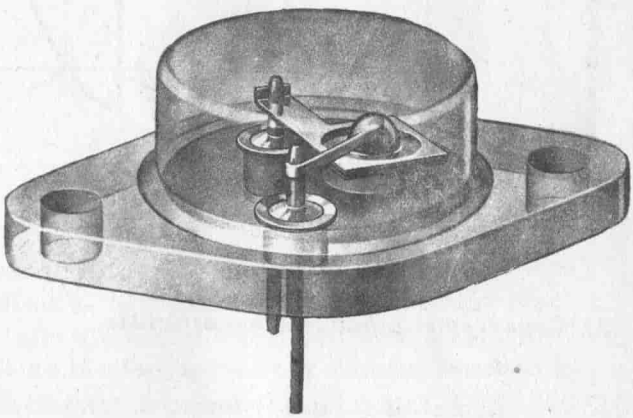


Fig. 57

ciclo completo, è possibile ottenere un lingotto provvisto di strati p di spessore sottile interposti a strati n di spessore maggiore con giunzioni ripide da una parte e graduali dall'altra.

Dal lingotto così ottenuto si ricavano le barrette contenenti le giunzioni di emettitore e di collettore con la regione p intermedia che costituisce la base. La fig. 58 mostra lo schizzo di una barretta e la relativa distribuzione delle impurità nella stessa.

I transistori ricavati con questo procedimento sono adatti, dato il basso valore della capacità di collettore per impieghi in alta frequenza.

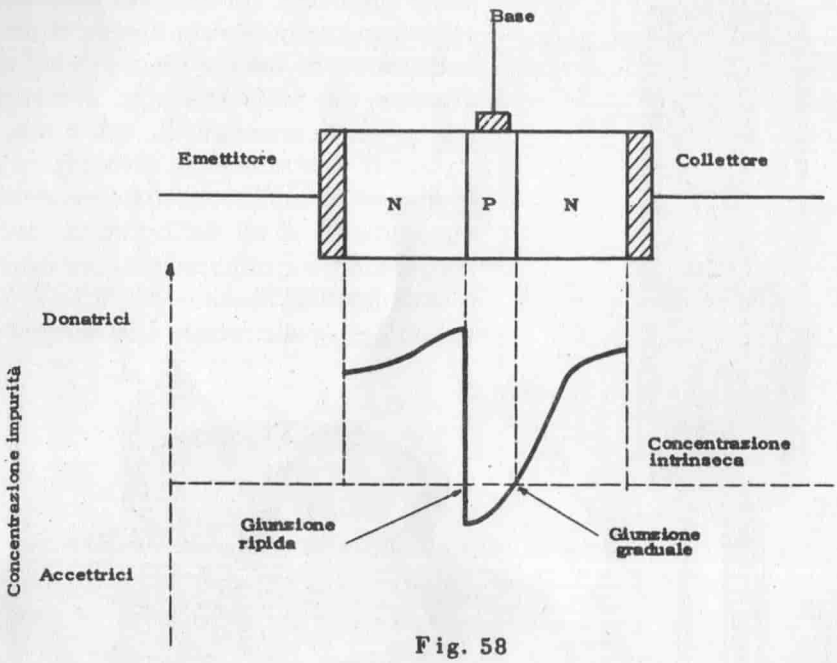


Fig. 58

3) Transistori a barriera superficiale.

Ai fini di ridurre il tempo di transito dei portatori di cariche attraverso la base si è cercato di ridurre lo spessore di base esistente fra le

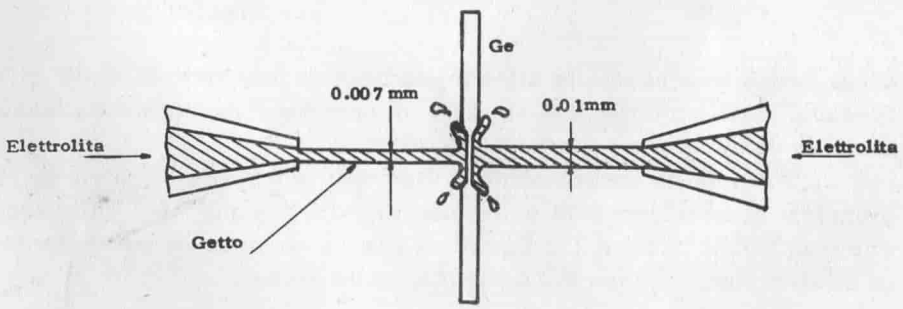


Fig. 59

due giunzioni. Dei buoni risultati si sono ottenuti riducendo lo spessore della piastrina di base fino al valore voluto con getti elettrolitici di solfato d'indio, secondo un procedimento sviluppato dalla Philco per la cozione dei transistori a barriera superficiale fig. 59.

Invertendo la polarizzazione della piastrina gli stessi getti elettrolitici depositano sulla piastrina due contatti di indio destinati a realizzare le giunzioni dell'emettitore e del collettore.

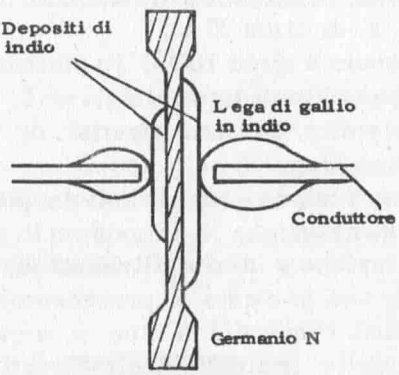


Fig. 60

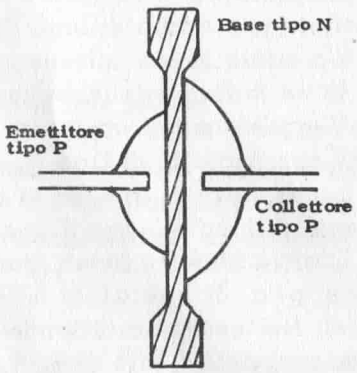


Fig. 61

Su tali depositi vengono premuti due collettori coperti da una goccia di una lega indio- gallio fig. 60 mentre un riscaldatore provoca la saldatura e la formazione della giunzione con il germanio ad una temperatura di circa 180° C applicata al dispositivo per qualche secondo figura 61.

Con questo procedimento si possono ottenere transistori con frequenze di taglio comprese tra 35 e 50 Mc/s.

4) Transistori a giunzione per diffusione.

La formazione della giunzione per diffusione consente di ottenerere transistori con ottime caratteristiche per l'impiego in alta frequenza a tensioni elevate e con alto guadagno.

Le eccezionali caratteristiche di stabilità dei parametri, ottenute con questo procedimento consentono inoltre di ottenere una elevata riproducibilità, con rendimenti di fabbricazione superiore all'85% data la possibilità di costruire più elementi contemporaneamente, ed inferiori costi di produzione rispetto a quelli, con analoghe prestazioni, ottenuti con altre tecniche.

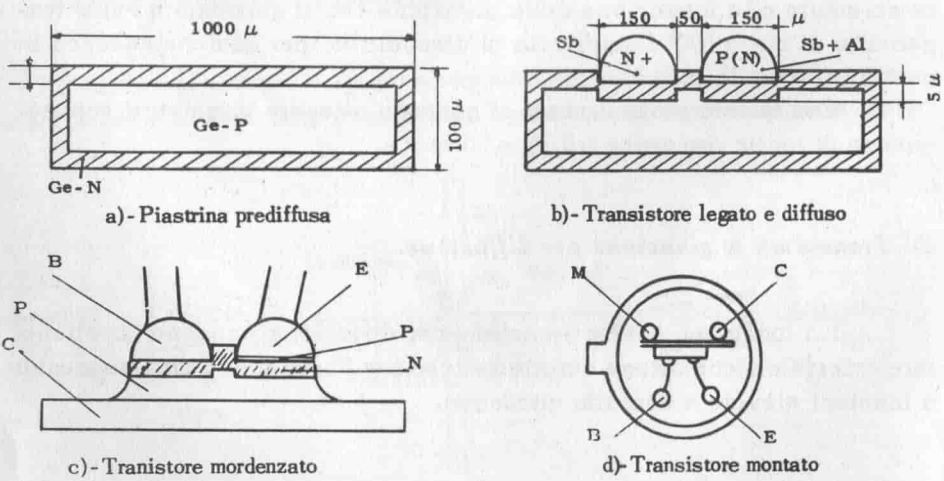
Il procedimento costruttivo inizia generalmente con un processo di diffusione su di una piastrina di materiale semiconduttore di tipo p di resistività piuttosto alta, (circa 5 Ω · cm), in modo da ottenere su tutta la superficie uno strato diffuso di tipo n di circa 10 μ.

La diffusione si ottiene riscaldando a circa 700° C la piastrina di tipo p in un forno contenente un vapore saturo di tipo n.

Vengono quindi applicate due sferette, una con impurità di tipo n, l'altra con impurità di tipo n e di tipo p.

La sferetta di tipo n si lega per fusione con lo strato precedentemente diffuso e forma il contatto di base.

L'altra sferetta forma, dopo la fusione e ricristallizzazione, una giunzione p-n di emettitore a contatto con lo strato n precedentemente diffuso. Nel germanio diffonde dapprima l'impurità di tipo n, a causa del maggiore coefficiente di diffusione delle impurità pentavalenti rispetto alle impurità trivalenti, e poi l'impurità trivalente che realizza, dopo la ricristallizzazione, uno strato p a contatto con la sferetta di emettitore. La distribuzione delle impurità nella giunzione di emettitore è tale da stabilire, nello spessore di base, un gradiente di cariche corrispondente ad un graduale aumento della resistività di base man mano che



a)-Piastrina prediffusa

b)-Transistore legato e diffuso

c)-Tranistore mordenzato

d)-Transistore montato

Fig.62-Alcune fasi di lavorazione di un transistore a diffusione di costruzione PHILIPS.

ci si avvicina alla giunzione di collettore migliorando così, come abbiamo già visto in precedenza le prestazioni del transistore. Dopo la saldatura del contatto di collettore la superficie viene trattata chimicamente in modo da eliminare lo strato prediffuso. Si effettuano poi le operazioni di montaggio del transistore su fondello, di fissaggio delle due connessioni base e emettitore, di invecchiamento, di incapsulamento e di collaudo.

Le figg. 62 mostrano alcune fasi di lavorazione di un transistore a diffusione di costruzione Philips.

5) *Transistori a giunzione per diffusione tipo planar.*

Questo tipo di transistore è simile a quello già visto per la formazione delle giunzioni per diffusione ma con l'aggiunta di una superficie di protezione di ossido di silicio sulla piastrina di materiale semiconduttore.

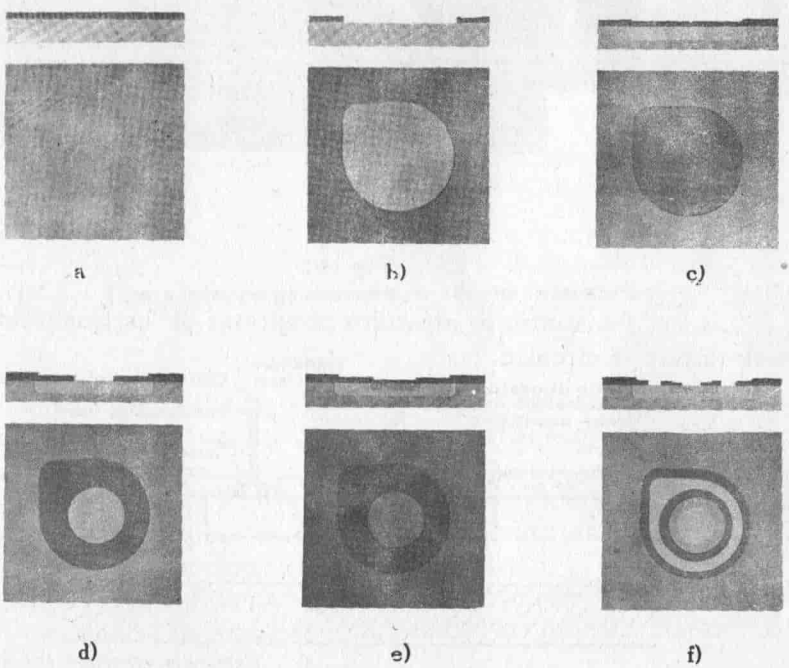
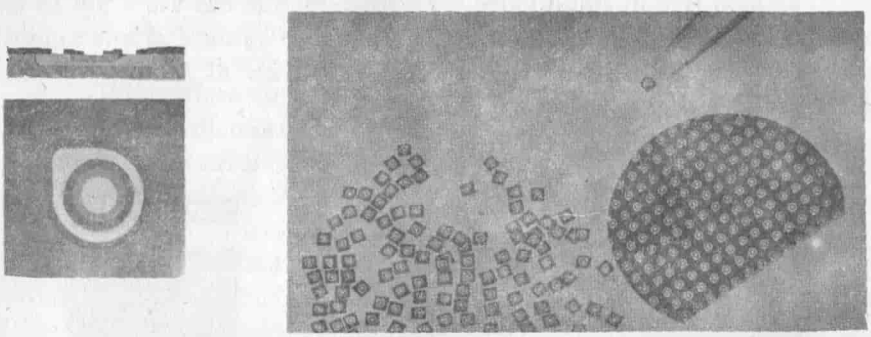


Fig. 63

Il procedimento costruttivo permette di costruire contemporaneamente più elementi transistori con elevati rendimenti di fabbricazione e basso costo. Esso consiste delle seguenti operazioni principali: ossidazione protettiva della superficie del semiconduttore di silicio, figura 63 a, apertura di una finestra entro lo strato di ossido mediante attacco chimico, fig. 63b, diffusione delle impurità di base attraverso la finestra e di deposito di un secondo strato di ossido, fig. 63 c, apertura di una una seconda finestra, inferiore alla prima, attraverso il secondo strato di ossido, fig. 63 d, diffusione delle impurità di emettitore attraverso la seconda finestra e deposito di un terzo strato di ossido fig. 63 e, apertura della finestra di contatto di base e di emettitore fig. 63f, metallizzazione dei contatti di base e di emettitore, fig. 63 g, suddivisione del cristallo in elementi singoli fig. 63 h.



g) h)

Fig. 63

La fig. 64 mostra la struttura completa di un transistore Planar di costruzione Fairchild.

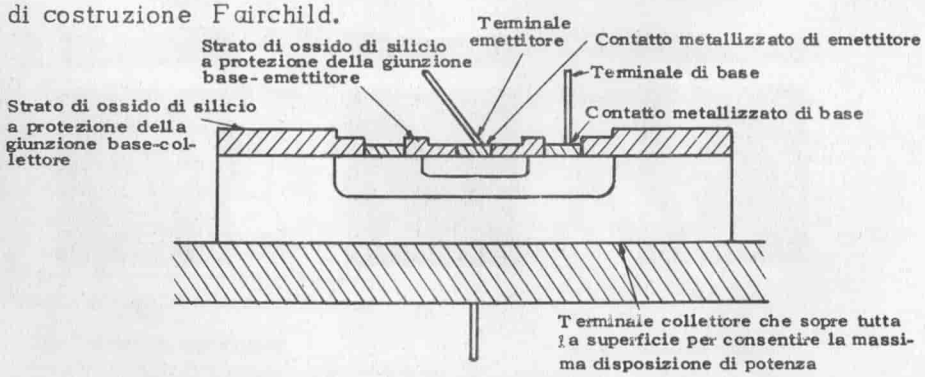


Fig. 64

La figura 65 mostra lo spaccato di un transistore planar di costruzione Fairchild.

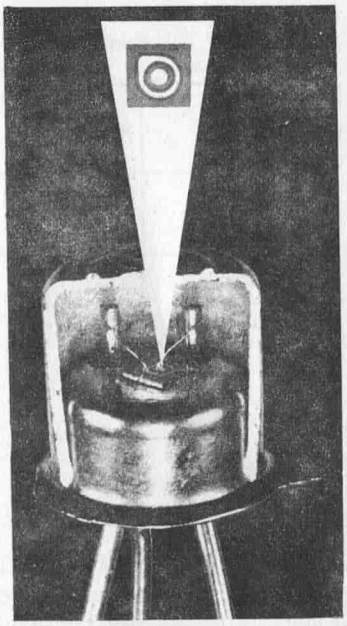


Fig. 65

IV.6 - Transistori a giunzione a strato intrinseco.

Questo tipo di transistore differisce dai normali transistori a giunzione per l'introduzione di uno strato intrinseco tra base e collettore fig. 66.

L'introduzione di uno strato intrinseco tra base e collettore riduce fortemente il valore della capacità di giunzione base – collettore per la mancanza di portatori di carica liberi.

La base pertanto può essere fatta con materiale a bassa resistività, per ridurre la resistenza di base e di piccolo spessore, senza pericoli di corto circuiti.

Con transistori di questo tipo sono stati ottenuti valori di capacità di collettore dell'ordine di 0,5 pF.

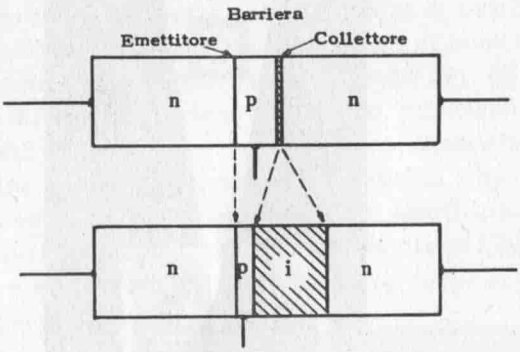


Fig. 66

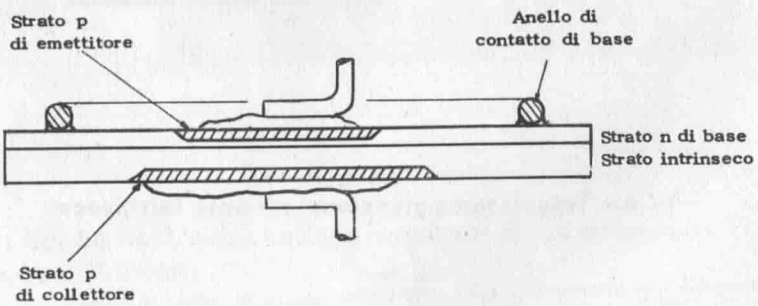


Fig. 67

La fig. 67 mostra in sezione la struttura di un transistore tipo p-n-i-p.

CAPITOLO V

RETTIFICATORI AD OSSIDO.

V.1 - Generalità.

Benché sin dai primi del 1900 erano note le caratteristiche rettificanti di numerose sostanze cristalline e di alcuni solfuri metallici, solo nel 1924 troviamo il primo rettificatore ad ossido di rame di tipo commerciale.

Per molti anni questo tipo di rettificatore ha riscosso dei veri successi nel campo nelle unità rettificatrici di tipo metallico. Esso però ha dovuto poi cedere il posto al rettificatore al selenio specialmente nel campo di applicazioni ove erano richiesti grandi valori di tensione e di corrente.

Oggi con il progredire dell'elettronica dello stato solido anche i rettificatori al selenio vanno man mano cedendo il campo di applicazione ai rettificatori a semiconduttore.

I principali tipi di rettificatori ad ossido si possono suddividere in:

1) Rettificatori ad ossido di rame

2) Rettificatori al selenio.

V.2 - Rettificatori ad ossido di rame.

Il rettificatore ad ossido di rame (Cu_2O) consiste di una piastra di rame ricoperta di ossido su una faccia in intimo contatto con una piastra o strato conduttore.

Lo strato di ossido si ottiene riscaldando ad alta temperatura, (circa 1030° C) la piastrina di rame purissimo, accuratamente smerigliata e sgrassata, e poi facendola raffreddare gradualmente o rapidamente mediante immersione in acqua.

Dopo questa operazione la piastrina viene trattata con una soluzione acida per eliminare lo strato di CuO isolante che ricopre l'ossidulo di rame Cu_2O.

Dopo aver eliminato lo strato di CuO viene applicato sulla superficie un elettrodo di materiale conduttore.

Questo elettrodo è costituito generalmente da un metallo a basso punto di fusione come: cadmio, zinco, bismuto ecc.

L'applicazione di questo elettrodo sullo strato di ossido richiede molta cura al fine di ottenere un perfetto contatto fra ossido e metallo e quindi un basso valore di resistenza diretta. Diversi metodi sono utilizzati a questo riguardo.

Alcuni costruttori infatti usano applicare uno strato sottile di grafite sullo strato di ossido prima di applicare l'elettrodo metallico, al-

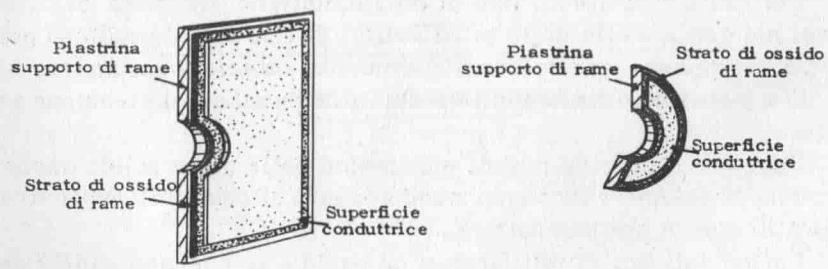


Fig. 68

tri invece utilizzano come elettrodo conduttore un deposito molto sottile di oro, argento o di alluminio. Questo procedimento piuttosto costoso viene però utilizzato solo per elementi di piccole dimensioni.

La fig. 68 mostra parte di un elemento finito di rettificatore ad ossido di rame di forma rettangolare e di forma circolare.

Gli elementi rettificatori possono essere raggruppati insieme, in diverse combinazioni, in modo da ottenere i valori di tensione e di corrente richiesti. Fra gli elementi vengono inserite delle rondelle di metallo tenero e degli elementi metallici dissipatori di calore. Tutti questi componenti montati su di un perno isolato e stretti alle estremità mediante bulloni formano il rettificatore richiesto fig. 69.

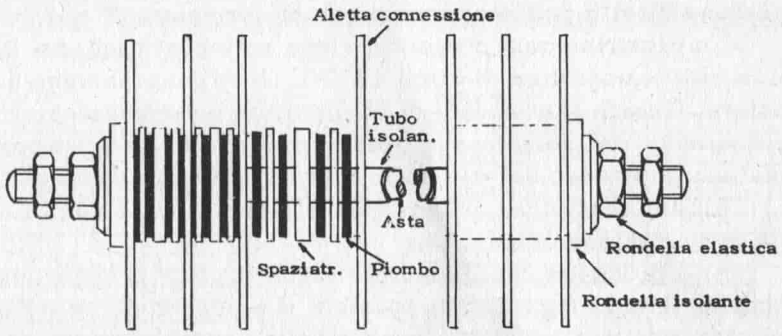


Fig. 69 - Elemento raddrizzatore dell'ossido di rame.

I rettificatori ad ossido di rame dato il basso valore della tensione inversa di funzionamento 2,5 Volt per elemento, trovano ancora qualche applicazione nei strumenti di misura ed in apparecchiature ove si richiedono grandi valori di corrente e bassi valori di tensione.

V.3 - Rettificatori al selenio.

I rettificatori al selenio sono utilizzati da diversi anni in scala commerciale, dai progettisti di apparecchiature elettroniche, in sostituzione di valvole rettificatrici, perché possiedono una lunga durata di esercizio (circa 10.000 ore), ed inoltre apportano una semplificazione ed una riduzione di peso e di ingombro dei componenti che costituiscono il circuito di alimentazione dell'apparecchiatura.

Originariamente l'elemento rettificatore al selenio veniva costruito utilizzando come supporto di base una piastrina di ferro sulla quale veniva applicata per fusione uno strato sottile di selenio. Su questo strato veniva poi applicato l'elettrodo conduttore costituito da una lega di cadmio-bismuto.

Oggi l'elemento rettificatore al selenio viene costruito utilizzando come supporto di base una piastrina di alluminio trattata chimicamente e placcata da un lato con uno strato sottile di bario o di nichel per assicurare un intimo contatto tra supporto e selenio.

Il selenio, finemente polverizzato ed allo stato amorfo viene depositato, in strato sottile, sulla piastrina di alluminio nichelato, con la aggiunta di adatti reagenti, che hanno lo scopo di ridurre la resistenza di conduzione diretta dell'elemento e quindi aumentarne l'efficienza.

La piastrina così preparata viene sottoposta ad un trattamento termico, alla temperatura di circa 1200° C e ad una pressione di circa 150 atmosfere. Questo trattamento di temperatura e pressione provoca la perfetta aderenza del selenio alla piastrina supporto e contemporaneamente la trasformazione del selenio dallo stato amorfo allo stato cristallino.

Alcuni costruttori depositano il selenio sulla piastrina base mediante evaporazione catodica.

Alla piastrina così preparata viene applicata, dopo una serie di trattamenti termici miranti a completare il processo di cristallizzazione, uno strato sottilissimo di sostanza alcalina mista ad agenti ossidanti allo scopo di aumentare la tensione inversa di lavoro dell'elemento (circa 30 V), e quindi aumentare la resistenza inversa di blocco.

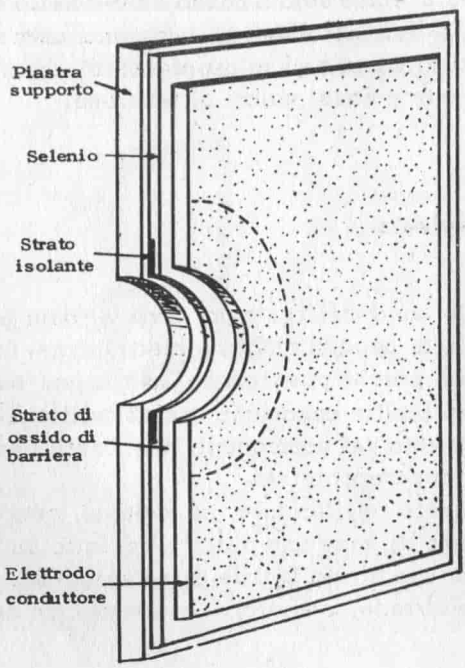


Fig. 70

Sull'elemento così preparato si applica lo strato metallico conduttore seguendo il procedimento già menzionato nel paragrafo precedente per i rettificatori ad ossido di rame.

La piastrina, infine, subisce un processo d'invecchiamento mediante l'applicazione di una tensione continua inversa, applicata per diverse ore, che viene man mano aumentata fino a raggiungere i valori di stabilità e di resistenza inversa richiesti.

La fig. 70 mostra parte di un elemento finito di rettificatore ad ossido di selenio.

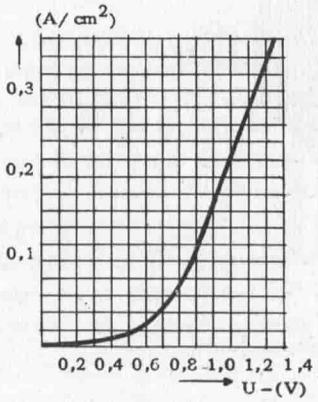


Fig. 71 - Curva caratteristica della corrente di passaggio per tavolette da 30 Volt.

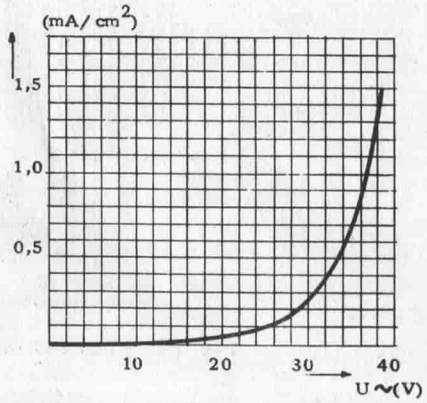


Fig. 72 - Curva caratteristica della corrente inversa per tavolette da 30 Volt.

I diagrammi in fig. 71 e fig. 72 mostrano l'andamento della corrente in un elemento di rettificatore, di costruzione Siemens, in funzione della tensione di passaggio e di sbarramento (tensione inversa). In direzione di passaggio, la corrente è funzione della tensione continua; in direzione di sbarramento invece, il valore medio della corrente continua per un intero periodo è funzione del valore efficace della tensione alternata applicata. In direzione di passaggio viene quindi soppressa mezza onda della tensione alternata applicata.

La fig. 73 mostra l'andamento della resistenza per

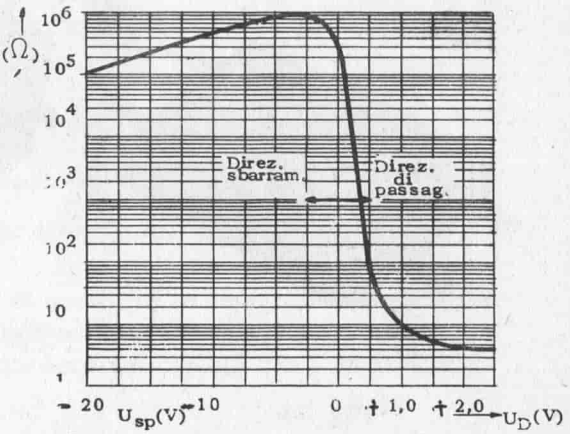


Fig. 73 - Curva caratteristica della resistenza media di una tavoletta da 30 Volt.

ogni cm^2, in direzione di passaggio e di sbarramento in funzione di una determinata tensione continua.

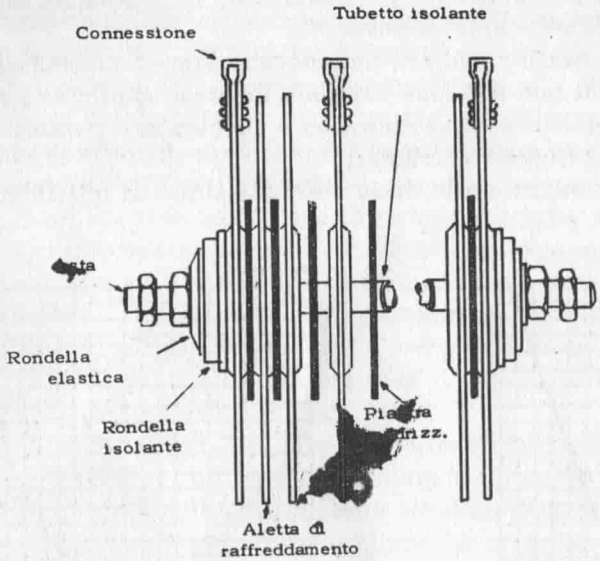


Fig. 74 - Elemento raddrizzatore al selenio.

La figura 74 mostra un esempio di montaggio.

Per applicazioni in apparecchiature elettroniche di piccola potenza si utilizzano rettificatori di tipo piatto, nei quali gli elementi ret-

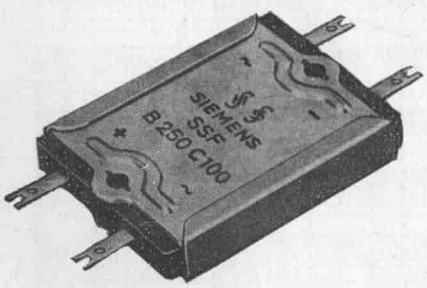


Fig. 75

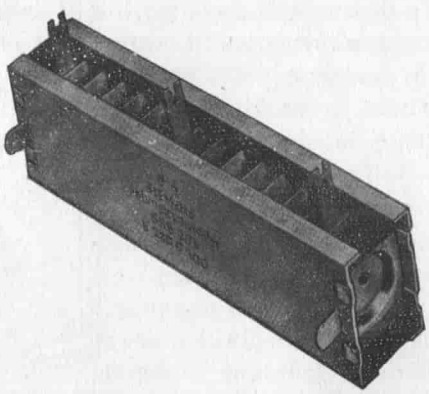


Fig. 76

tificanti sono disposti in forma di piccole pile entro involucri piatti di alluminio fig. 75, oppure rettificatori a blocco, nei quali gli elementi rettificanti sono allineati, a mezzo di interposizione di piccole piastre distanziatrici, entro telai semiaperti fig. 76.

V.4 - Funzionamento dei rettificatori alle varie temperature e sistemi relativi di raffreddamento.

La temperatura ambiente, in cui possano funzionare regolarmente i rettificatori ad ossido con la massima possibilità di erogazione di corrente, arriva fino a 35° C. Tuttavia con erogazione di corrente ridotta o migliorando la dissipazione del calore, i rettificatori ad ossido di rame possono funzionare con una temperatura ambiente di 45° C, mentre i rettificatori ad ossido di selenio possono funzionare senza danno fino alla temperatura ambiente di 55° C.

In generale la temperatura dell'elemento rettificatore ad ossido di rame non deve superare i 60° C mentre quella dell'elemento rettificatore al selenio non deve superare i 75° C.

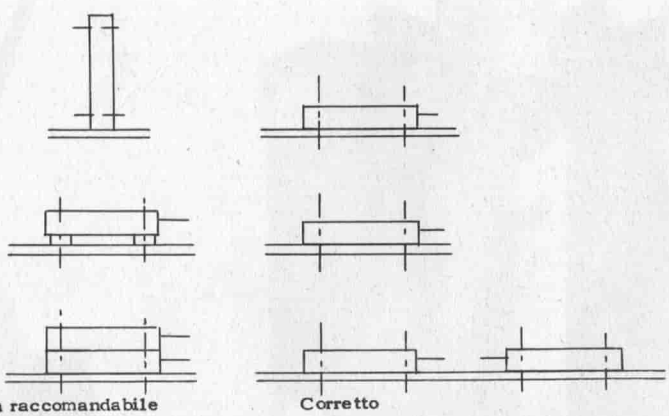


Fig. 77- Indicazioni di montaggio di rettificatori piatti di costruzione Siemens.

I rettificatori piatti, al fine di garantire la massima conduzione di calore e quindi il miglior raffreddamento, devono essere montati con la parte posteriore a ridosso della lamiera del telaio come mostra la figura 77.

I rettificatori a blocco, a forma di parallelepipedo semiaperto devono essere montati fissandoli al disopra di un intaglio rettangolare del telaio come mostra la fig. 78 in modo che l'aria, circolando liberamente

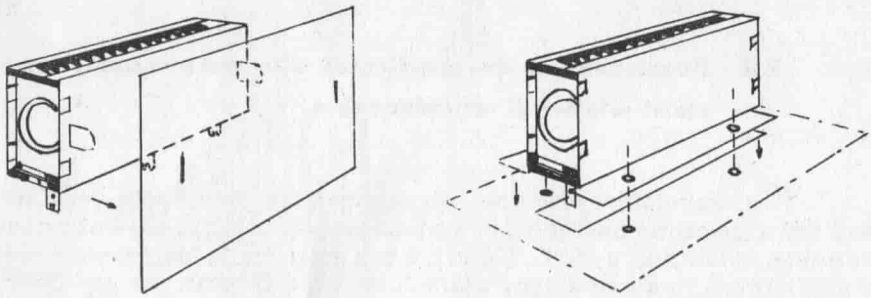


Fig. 78 - Schema di montaggio di un raddrizzatore a blocco di costruzione Siemens.

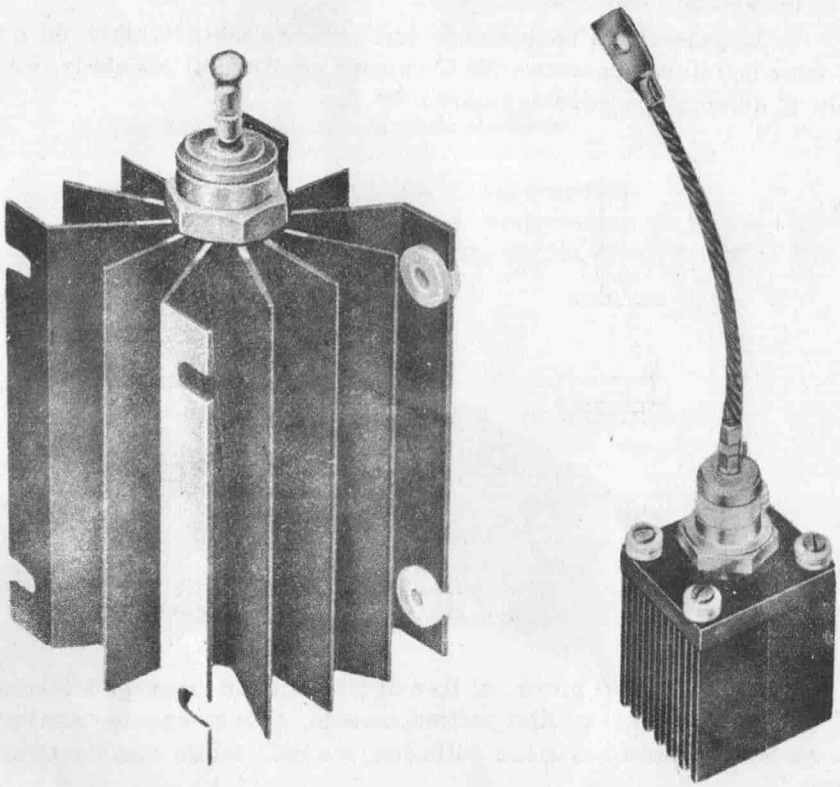


Fig. 79

attraverso questa apertura possa disperdere direttamente il calore prodotto dalle piastre del rettificatore.

Nei rettificatori di potenza a semiconduttore, già visti a pag. 41, il calore prodotto alla giunzione deve essere rimosso fissando l'involucro metallico dell'elemento rettificatore direttamente al telaio dell'apparecchiatura o ad un sistema di alette di raffreddamento come mostra la figura 79.

Gli elementi dissipatori devono essere progettati in funzione della temperatura ambiente di lavoro e della potenza dissipata dal dispositivo facendo in modo che la temperatura della giunzione non superi i valori massimi precedentemente citati di 80° C per il germanio e di 200 - - 250° C per il silicio.

*

PARTE SECONDA

CAPITOLO I

TECNOLOGIA DEI TUBI ELETTRONICI.

1.1 - Generalità e classificazione.

Si chiamano tubi elettronici tutti quei componenti nell'interno dei quali, gli elettroni, emessi da uno degli elettrodi componenti, possono essere convogliati verso uno o più elettrodi collettori, stabilendo così un flusso continuo di cariche e quindi un passaggio di corrente elettrica nel circuito esterno del tubo.

I tubi elettronici si possono classificare in: tubi a vuoto e tubi con riempimento gassoso. Per ciascuna classificazione esistono vari tipi di tubi che si differenziano sia per le caratteristiche funzionali che costruttive.

I tubi elettronici si classificano inoltre in:

1) *tubi termoelettronici o ad emissione termo-elettronica*
2) *tubi fotoelettrici o ad emissione fotoelettrica*
3) *tubi moltiplicatori o ad emissione secondaria*
4) *Tubi a catodo freddo o ad emissione per effetto di campo*

Vi sono poi altri tubi che si classificano secondo le loro funzioni come per esempio i tubi a raggi catodici, i tubi a raggi X, i Klystron ecc.

1.2 - Tubi termoelettronici o ad emissione termo-elettronica.

Nei tubi termoelettronici l'emissione elettronica si ottiene per effetto termoelettrico che consiste nel riscaldare il metallo emittente, detto catodo, fino a fornire agli atomi una certa agitazione termica.

Quest'ultima si comunica agli elettroni i quali possono raggiungere delle velocità e quindi delle energie sufficienti per superare la *barriera di energia di potenziale*, che si oppone alla fuoriuscita degli elettroni dal metallo emittente del catodo.

L'energia necessaria per estrarre un elettrone da un metallo prende il nome di *lavoro di estrazione.*

L'unità di misura del lavoro di estrazione è il Volt - elettrone [V_e], ossia l'energia che si richiede perché un elettrone superi la barriera di potenziale di 1 volt.

Nel caso dell'emissione termoelettronica, il lavoro di estrazione prende il nome di lavoro di estrazione termoelettronico, ed è dato da:

$$L_e = e \cdot \phi$$

essendo e la carica dell'elettrone e ϕ il potenziale intrinseco.

Il valore di L_e, variabile da metallo a metallo, oscilla fra 1,3 e 6,3 Ve.

La tabella 1 riporta il lavoro di estrazione termo-elettronico di alcuni metalli e loro leghe.

TABELLA 1

Metallo	Simbolo	Lavoro di estrazione termo-elettronico L_e [Ve]
Platino	Pt	6,27
Tungsteno	W	4,52
Molibdeno	Mo	4,15
Zirconio	Zr	4,12
Tantalio	Ta	4,07
Torio	Th	3,58
Tungsteno-Zirconio	W-Zr	3,14
Tungsteno-Cerio	W-Ce	2,71
Tungsteno-Torio	W-Th	2,63
Tungsteno-Bario	W-Ba	1,56
Tungsteno-Cesio	W-Cs	1,36

1.3 - Materiali utilizzati come catodi nei tubi termoelettronici.

I principali materiali utilizzati come catodo nei tubi termoelettronici sono:

1) Tungsteno

2) Tantalio

3) Ossidi di materiali alcalino terrosi (Bario, stronzio)

4) Tungsteno toriato.

1) Tungsteno.

Si ottiene dal minerale Wolframite (WO_4FeMn), tungstenato doppio di ferro e manganese, sotto forma di polvere grigia, dopo una serie di combinazioni chimiche. La polvere viene compressa sotto forma di barrette ad una pressione di 2 tonn/ cm^2. Le barrette subiscono poi un processo di sinterizzazione alla temperatura di 3200° C in atmosfera di idrogeno fino a raggiungere una densità di 18 ÷ 18,5; dopo di che vengono fucinate alla temperatura di 1200° C e ridotte in fili in apposite filiere di diamante. Con questo sistema si possono ricavare fili sottili di tungsteno fino a un diametro minimo di 5 μ .

Il tungsteno a causa della sua elevata temperatura di fusione (3370° C) ed alla sua debole tensione di vapore è stato, fino al 1923, l'unico materiale utilizzato come catodo nella costruzione dei tubi elettronici riceventi e trasmittenti.

Oggi i tubi riceventi sono costruiti con catodi ad ossido perché hanno, come vedremo, un elevato rendimento di emissione, circa 100 mA/W, rispetto ai catodi di tungsteno che raggiungono appena un rendimento di 5 mA/W.

Il tungsteno viene però tuttora utilizzato nella costruzione dei tubi elettronici di grande potenza. Infatti, in tali tubi, sia a causa dell'elevata potenza in gioco, che determina temperature considerevoli, sia a causa dell'eccessiva velocità degli elettroni, dovuta alle tensioni di polarizzazione di alto valore, si ha liberazione di particelle di gas oc-

cluse nelle parti metalliche che compongono i vari elettrodi, con conseguente diminuzione del vuoto nell'ampolla. In seguito a ciò, si determinano fenomeni di ionizzazione, dovuti all'urto degli elettroni con gli atomi del gas e formazione di ioni positivi che, ricadendo sul filamento, lo disgregherebbero rapidamente, se questo non fosse del tipo di metallo puro o lega metallica.

L'emissione elettronica del catodo di tungsteno è ottenuta senza far subire al materiale alcun trattamento particolare, si richiede però una temperatura di funzionamento elevata (2500° K) e pertanto una grande potenza di riscaldamento per ottenere un sufficiente rendimento di emissione.

La durata di un catodo di tungsteno può variare dalle 1000 alle 5000 ore secondo le dimensioni del tubo.

2) Tantalio.

Il lavoro di estrazione del tantalio è inferiore a quello del tungsteno (4,1 rispetto a 4,52 eV) e pertanto a parità di temperatura di funzionamento si ottiene un valore di emissione di circa 10 volte maggiore. A questo vantaggio però si oppone: un più basso valore della temperatura di fusione 3027° C rispetto a 3370° C; una pressione di vapore di circa 10 volte superiore a quella del tungsteno alla temperatura di 2500° C; una facile contaminazione sotto l'azione dei gas residui, in particolare dell'ossigeno, contenuti nell'ampolla del tubo.

Malgrado questi inconvenienti il tantalio viene utilizzato per la costruzione di catodi di tipo speciale, Klystron di grande potenza, per la sua grande malleabilità che permette la costruzione di catodi a forma di imbuto, adatti per ottenere una buona focalizzazione del fascetto elettronico.

3) Ossidi di materiale alcalino terrosi.

I catodi ad ossidi di materiale alcalino terrosi sono costituiti da un supporto metallico generalmente di nichel o di tungsteno, ricoperto da

uno strato, di circa 10 μ di spessore, composto da una miscela di carbonato di bario e carbonato di stronzio con l'aggiunta di una piccola quantità di carbonato di calcio. Durante la vuotatura del tubo si porta il catodo alla temperatura di 1100° C. A questa temperatura i carbonati si decompongono liberando anidride carbonica che viene evacuata. Terminata la vuotatura sul supporto resta uno strato di ossidi alcalino - terrosi. Dopo questa operazione l'emissione elettronica non ha raggiunto ancora il valore massimo ed inoltre non è distribuita uniformemente su tutta la superficie.

L'operazione finale, detta attivazione, consiste nel portare il catodo ad una temperatura leggermente superiore a quella di vuotatura e nell'applicare contemporaneamente a tutti gli elettrodi riuniti insieme una tensione positiva rispetto al catodo, di circa una decina di volt , per una durata sufficiente a far raggiungere al catodo una emissione del valore di 100 mA/cm^2.

Il trattamento di attivazione ha lo scopo di provocare una decomposizione parziale degli ossidi in ossigeno e metallo facendo assumere allo strato emettitore le caratteristiche di un semiconduttore di tipo n, le impurità donatrici sono costituite dagli atomi di bario metallico.

L'aumento di emissione che si riscontra nei catodi ad ossido dopo l'attivazione è da attribuirsi ad un doppio strato di cariche fra ossido e metallo alcalino allo stato puro che riduce la barriera di potenziale e favorisce l'emissione di elettroni da parte del metallo alcalino.

La temperatura di normale funzionamento dei catodi ad ossidi è di circa 650° C. Per temperature più elevate si ha una maggiore emissione elettronica ma una minore durata dell'efficienza catodica ed una maggiore probabilità che dagli elettrodi si liberino gas occlusi con conseguente inquinamento del catodo per la formazione dei composti con il bario metallico.

I catodi ad ossidi sono utilizzati nella costruzione di tubi di piccola potenza (100 W_{max}), funzionanti con bassi valori di tensione anodica, ciò allo scopo di ridurre al minimo l'azione distruttrice del bombardamento ionico sul catodo dovuto agli ioni positivi dei gas residui contenuti nel tubo.

4) Tungsteno toriato.

I catodi costruiti con materiale di tungsteno toriato hanno un rendimento di emissione termoelettronica superiore a quelli costruiti con tungsteno puro. Essi si preparano rivestendo l'anima di tungsteno con ossido di torio. Con un secondo procedimento di disossidazione, a temperatura elevata, l'ossido di torio viene trasformato in torio metallico ed attivato, tenendolo nel vuoto ad una temperatura di 2000° K, leggermente superiore a quella di funzionamento. A questa temperatura parte del torio si porta alla superficie del catodo, dove si deposita in uno strato di spessore monoatomico.

La temperatura normale di funzionamento del catodo di tungsteno-toriato così ottenuto si aggira tra 1800° K e 2000° K con un potenziale di estrazione di circa 2,6 Ve. Questa riduzione del potenziale di estrazione rispetto a quella del torio metallico (di 3,5 Ve) è probabilmente dovuto alla formazione di un doppio strato di cariche elettriche che si forma fra lo strato monoatomico di torio, che assume le caratteristiche di un semiconduttore di tipo n, ed il tungsteno che assume quella di un semiconduttore di tipo p.

Si viene a formare così una vera e propria giunzione che favorisce l'emissione elettronica.

La durata di un catodo di tungsteno toriato è superiore a quella di un catodo di tungsteno puro. Questo tipo di catodo viene utilizzato nella costruzione di tubi elettronici di potenze intermedie comprese tra 500 W e 10 kW.

1.4 - Riscaldamento e struttura dei catodi emittenti.

I catodi utilizzati nella costruzione dei tubi termoelettronici possono essere di due tipi:

1) Catodi a riscaldamento diretto

2) Catodi a riscaldamento indiretto.

1) Catodi a riscaldamento diretto.

I catodi a riscaldamento diretto sono costiuiti da semplici filamenti, percorsi dalla corrente riscaldatrice, ai quali è affidato pure il compito di emettere elettroni. La sezione di questi filamenti può essere circolare o rettangolare (piattina). I metalli con i quali sono costruiti variano in funzione delle caratteristiche elettriche richieste, ma generalmente, si utilizza il tungsteno o una lega costituita dall'80% di Mo e dal 20% di W.

I catodi a sezione rettangolare del tipo ad ossido si costruiscono tagliando i nastri di metallo delle dimensioni volute ed immergendoli, dopo averli fissati a dei supporti, in una vasca elettrolitica contenente una soluzione di carbonati di bario e di stronzio. Collegando i nastri filamento al polo negativo si fa passare nella vasca una corrente di circa 10 m A/cm^2 fino ad ottenere sui filamenti lo spessore di depositi di carbonati desiderato.

I nastri così preparati vengono immersi in una soluzione protettiva costituita da una miscela di nitrocellulosa, etere etilico e acetato di amile. Questo strato protettivo evapora durante l'operazione di vuotatura del tubo, senza lasciare depositi.

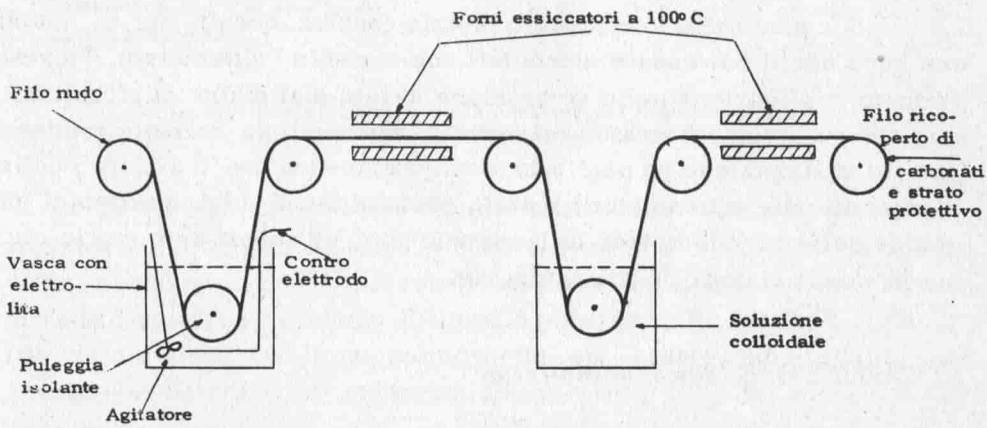


Fig. 80 - **Procedimento a ciclo continuo per il deposito dei carbonati di Bario e Stronzio e del deposito colloidale protettivo.**

Il deposito dei carbonati sui filamenti a sezione circolare viene ottenuto con lo stesso sistema ma utilizzando un procedimento a ciclo continuo come mostra la fig. 80.

La disposizione del filamento nella struttura del tubo può essere a elemento semplice fig. 81 oppure a V rovesciata semplice o doppia come mostra la fig 82. Esso viene fissato ai supporti terminali di alimentazione e mantenuto teso da sostegni elastici di acciaio inossidabili o di molibdeno.

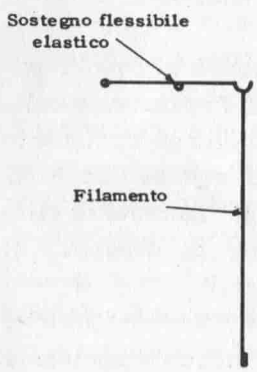


Fig. 81

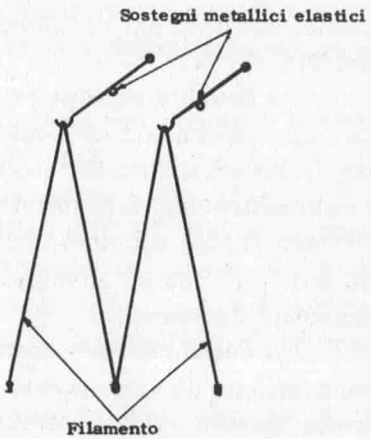


Fig. 82

A causa della loro piccola inerzia termica questi tipi di catodi non sono adatti per essere alimentati con corrente alternativa. Trovano pertanto applicazione nella costruzione di tubi elettronici di piccolissima potenza per apparecchiature portatili alimentati in corrente continua (questa utilizzazione va però man mano diminuendo con lo sviluppo delle apparecchiature a transistori) e nella costruzione di tubi elettronici di grande potenza, con catodo di tungsteno puro, alimentati in c.c. o in c.a. con speciali sistemi di alimentazione.

2) Catodi a riscaldamento indiretto.

I catodi a riscaldamento indiretto sono riscaldati da un filamento, posto all'interno di un tubetto di nichel, che costituisce il catodo, elet-

tricamente isolato dal tubetto per mezzo di uno strato di materiale refrattario di ossido di alluminio.

Il filamento riscaldatore è generalmente costituito da tungsteno puro o da una lega di tungsteno e molibdeno. Esso deve fornire la potenza necessaria per il riscaldamento del catodo.

L'isolamento del filamento riscaldatore viene ottenuto depositando sul filamento stesso uno strato, di spessore variabile da 0,05 a 0,15 mm di ossido di alluminio.

Il deposito viene effettuato con il procedimento a ciclo continuo schematizzato in fig. 83.

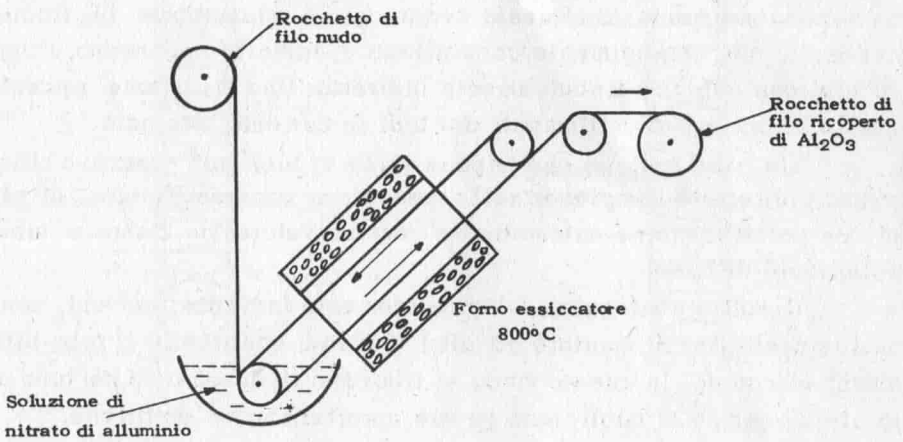


Fig. 83 - Procedimento a ciclo continuo per l'isolamento del filamento con uno strato di ossido di alluminio.

Il filo nudo proveniente dal rocchetto viene fatto passare in una soluzione di nitrato di alluminio e successivamente riscaldato in forno alla temperatura di 800° C. Questa operazione viene ripetuta una decina di volte mediante un sistema di rinvio a pulegge multiple, dopo di che il filo isolato viene avvolto su un rocchetto per essere, poi, tagliato in spezzoni di determinata lunghezza, spirallizzato, piegato ed introdotto nel tubetto di nichel.

I tubetti di nichel, funzionanti da supporto del materiale ossido emittente, vengono ottenuti, per successive operazioni di trafilature, partendo da un tubetto di nichel, del diametro di 1 cm e dello spessore di 1 mm, che viene ridotto fino ad ottenere un tubetto del diametro e dello spessore richiesto. Da questo si ricavano i tubetti della lunghezza voluta.

Sulla superficie esterna dei tubetti così ottenuti vengono poi depositati i carbonati di ossido emittenti e lo strato colloidale protettivo seguendo gli stessi procedimenti già descritti nel paragrafo precedente.

I catodi a riscaldamento indiretto presentano il vantaggio di avere una superficie catodica equipotenziale. A parità di emissione, hanno un minor rendimento, ma questo svantaggio è trascurabile di fronte alle necessità che generalmente consigliano e, talvolta impongono, l'impiego di tubi con catodi a riscaldamento indiretto. Una di queste necessità è quella di accendere i filamenti dei tubi in corrente alternata.

Un'altra ragione che impone l'uso di tubi con catodo a riscaldamento indiretto è l'impiego, nella medesima apparecchiatura, di più tubi con polarizzazione automatica e diverso valore, da tubo a tubo, del potenziale di base.

Un altro vantaggio, del riscaldamento indiretto dei tubi, consiste nella possibilità di montare gli altri elettrodi costituenti il tubo tutti più vicini al catodo. In questo modo si riducono le dimensioni del tubo e nello stesso tempo si migliorano le sue caratteristiche elettriche.

1.5 - Le griglie.

Le griglie sono costituite da un filo sottile di molibdeno o di nichel avvolto a spirale su dei supporti metallici paralleli detti *tige* come mostra la fig. 85.

Un tubo elettronico può essere costituito, a seconda delle caratteristiche di funzionamento richieste, da una o più griglie, generalmente, montate coassialmente agli altri elettrodi.

Le griglie hanno lo scopo di controllare il flusso di elettroni che le attraversa. Questa funzione però viene quasi sempre affidata alla griglia più vicina al catodo detta *griglia di controllo* perché questa, data la sua vicinanza al catodo, è in grado di agire efficacemente sul campo elettrostatico del catodo stesso.

La griglia controllo può dar luogo ad effetti di emissione secondaria detta *emissione di griglia*. Questo fenomeno si verifica se: sulla griglia esistono tracce di bario, evaporati dal catodo durante l'operazione di attivazione, oppure, se la temperatura della griglia assume valori sufficientemente elevati



Fig. 85

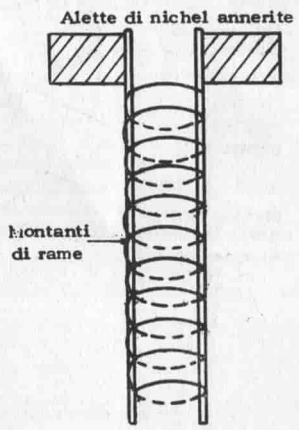


Fig. 86

Al primo inconveniente si può ovviare ricoprendo di oro o di platino, mediante processo elettrolitico, il filo di molibdeno che forma la spirale.

L'aumento di temperatura può essere ridotto utilizzando dei supporti di rame e montando alle estremità libere dei supporti delle alette di raffreddamento, in metallo annerito, come mostrato in fig. 86.

La costruzione delle griglie viene effettuata automaticamente in serie mediante macchine speciali.

Il filo costituente i supporti, proveniente da due bobine viene allogato in due scanalature praticate secondo le generatrici di un mandrino di carburo di tungsteno avente la forma della griglia. Intorno al man-

drino viene fatta girare una torretta mobile fig. 87 sulla quale sono montate; una bobina di filo metallico sottile; una mola circolare di taglio triangolare ed un godrone.

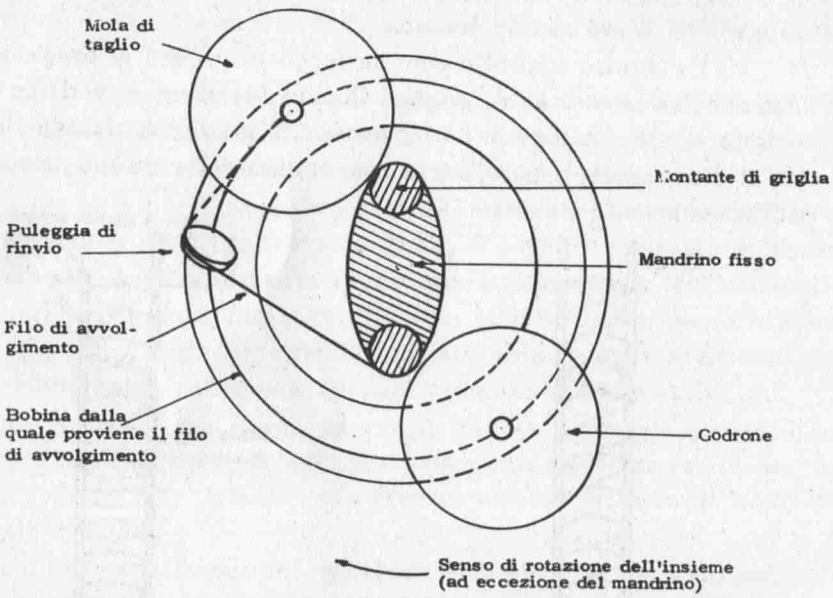


Fig. 87

Durante la rotazione della torretta mobile la mola pratica un intaglio nei supporti fig. 88; dopo un quarto di giro il filo di metallo sottile

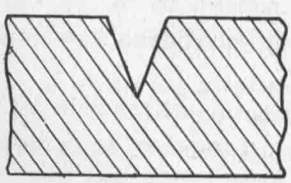


Fig. 88

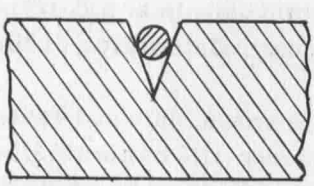


Fig. 89

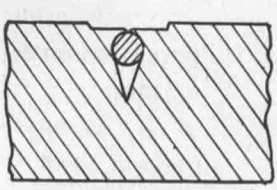


Fig. 90

prende posto nel vano praticato sul supporto fig. 89; dopo un altro quarto di giro il godrone blocca il filo sul supporto fig. 90.

Le griglie uscenti dalla macchina avvolgitrice vengono poi tagliate in pezzi della lunghezza voluta.

Il passo di avvolgimento della spirale viene realizzato come in un tornio meccanico, da un sistema di ruotismi.

Con la stessa macchina è possibile costruire griglie a passo variabile per mezzo di una camme atta a variare periodicamente la velocità di rotazione della vite madre. La fig. 91 mostra una griglia a passo variabile e la caratteristica relativa confrontata con una griglia a passo fisso, di valore uguale al passo medio della griglia a passo variabile.

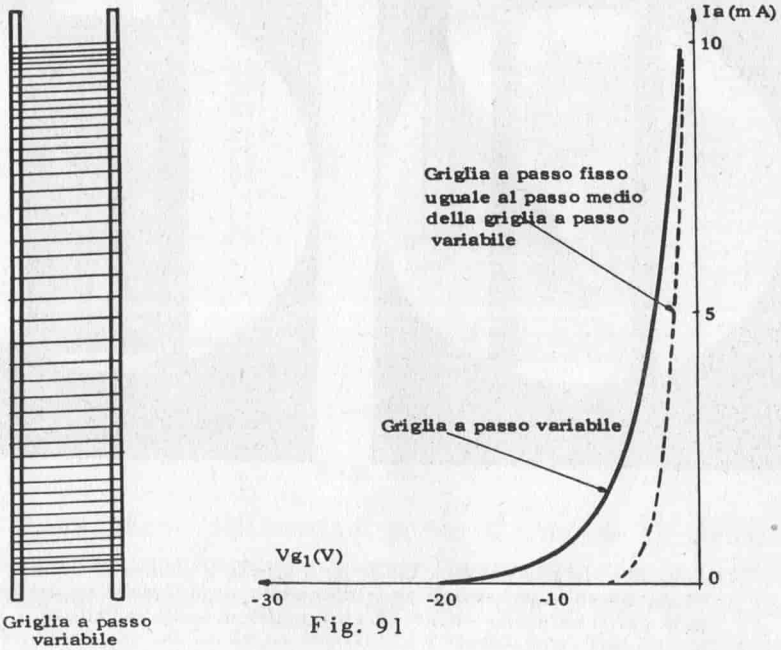


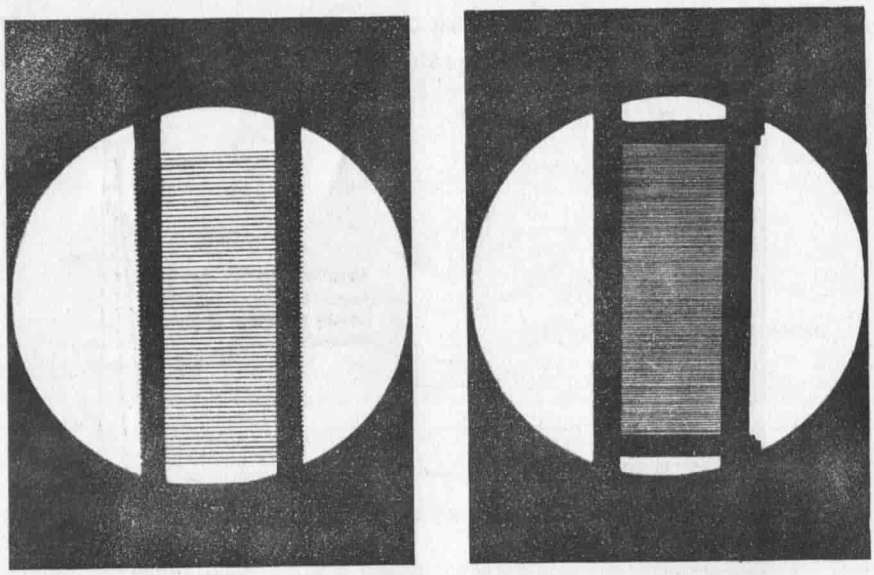
Fig. 91

Attualmente vengono costruite particolari griglie formate da un solido telaio, costituito da due sostegni rigidi tenuti paralleli da due barre disposte trasversalmente; su questo telaio o quadro viene avvolto il filo di griglia del diametro di solo 10 μ.

Questa costruzione consente un distanziamento estremamente ridotto ed accurato tra griglia e catodo senza introdurre rischi di cortocircuiti tra questi due elettrodi, nonostante le notevoli variazioni di temperatura alle quali questi elettrodi sono soggetti.

Con questo tipo di griglie si riescono a costruire tubi elettronici con pendenza molto elevata particolarmente adatti per la realizzazione di amplificatori a larga banda.

La fig. 92 mostra come appaiono sullo schermo di un microscopio a proiezione, impiegato per il controllo ottico, una griglia di tipo convenzionale (a) ed una griglia a quadro (b).



a) b)

Fig. 92 - Griglia convenzionale a) e griglia a quadro b) come appaiono sullo schemo di un microscopio a proiezione impiegato per il controllo ottico. (Da informazioni tecniche Philips).

1.6 - Gli anodi.

Nei tubi elettronici in genere, l'anodo ha il compito di attrarre gli elettroni emessi dal catodo.

Gli anodi dei tubi termoelettronici assumono le forme più svariate e il loro dimensionamento ha molta influenza sulle caratteristiche dei medesimi. Poiché la potenza dissipata dal tubo deve venire smaltita dall'anodo sotto forma di calore, la superficie di questo elettrodo viene resa ruvida, ed aumentata mediante alette e nervature di raffreddamento come mostra la fig. 93.

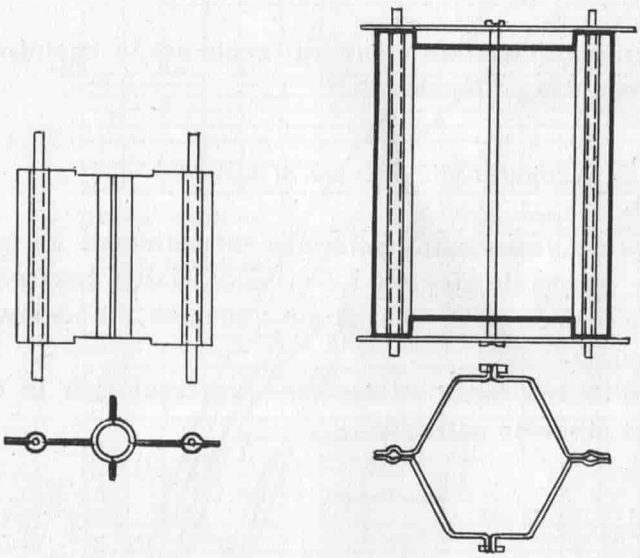


Fig. 93

Il riscaldamento dell'anodo è dovuto al fatto che gli elettroni entrando nel metallo, si urtano sia reciprocamente, sia con le particelle che costituiscono la materia dando così luogo ad un aumento di temperatura che, se la velocità degli elettroni è assai elevata, può persino determinare la fusione dell'elettrodo.

I metalli impiegati nella fabbricazione degli anodi, devono presentare malleabilità elevata, basso coefficiente di dilatazione termica, elevato punto di fusione. Generalmente si usano i seguenti materiali assai spesso anneriti per aumentare il fattore di dissipazione totale:

1) Nichel ricoperto da uno strato nerastro di carburo di nichel .

Questo trattamento conferisce all'anodo un fattore di dissipazione di 0,8 rispetto al valore di 0,15 corrispondente adun anodo di nichel puro delle stesse dimensioni.

Il nichel così trattato viene utilizzato per la costruzione di anodi di tubi finali di potenza.

2) Ferro placcato di nichel o di alluminio.

Questo rivestimento protegge il ferro dall'ossidazione ed inoltre permette di ottenere superfici nerastre con elevato fattore di emissione totale.

Il ferro così trattato viene utilizzato per la costruzione di anodi di tubi riceventi non professionali.

3) Molibdeno ricoperto con polvere di zirconio.

Questo rivestimento conferisce al molibdeno un fattore di emissione totale veramente elevato. Lo zirconio inoltre possiede una elevata affinità chimica per i gas; per cui esso assorbe i medesimi aumentando il grado di vuoto.

Il molibdeno così trattato viene utilizzato per la costruzione di anodi di tubi di media potenza.

4) La grafite.

Questo materiale, di elevato fattore emissivo totale ($\epsilon_t = 0,85$), viene utilizzato, sotto forma massiccia, per la costruzione di anodi di tubi di media potenza e di tyratron.

Il diagramma in fig. 94 fornisce per alcuni di questi tipi di materiali la potenza smaltita per irraggiamento in funzione della temperatura.

Gli anodi possono essere piani o cilindrici. Vi sono oggi in commercio tubi con anodo di forma speciale, tipo a scomparti, che hanno il pregio di ridurre al minimo gli effetti nocivi dovuti all'emissione secondaria. La fig. 95 mostra la sezione indicante le posizioni dell'anodo interno e dell'anodo esterno, del tipo a scomparti, di un pentodo finale PL 500 di costruzione Philips.

Nei tubi di grande potenza il raffreddamento degli anodi viene effettuato per convenzione con circolazione forzata di aria o di acqua. In ambedue i casi l'anodo, generalmente costituito da un cilindro di rame, fa parte dell'involucro esterno del tubo.

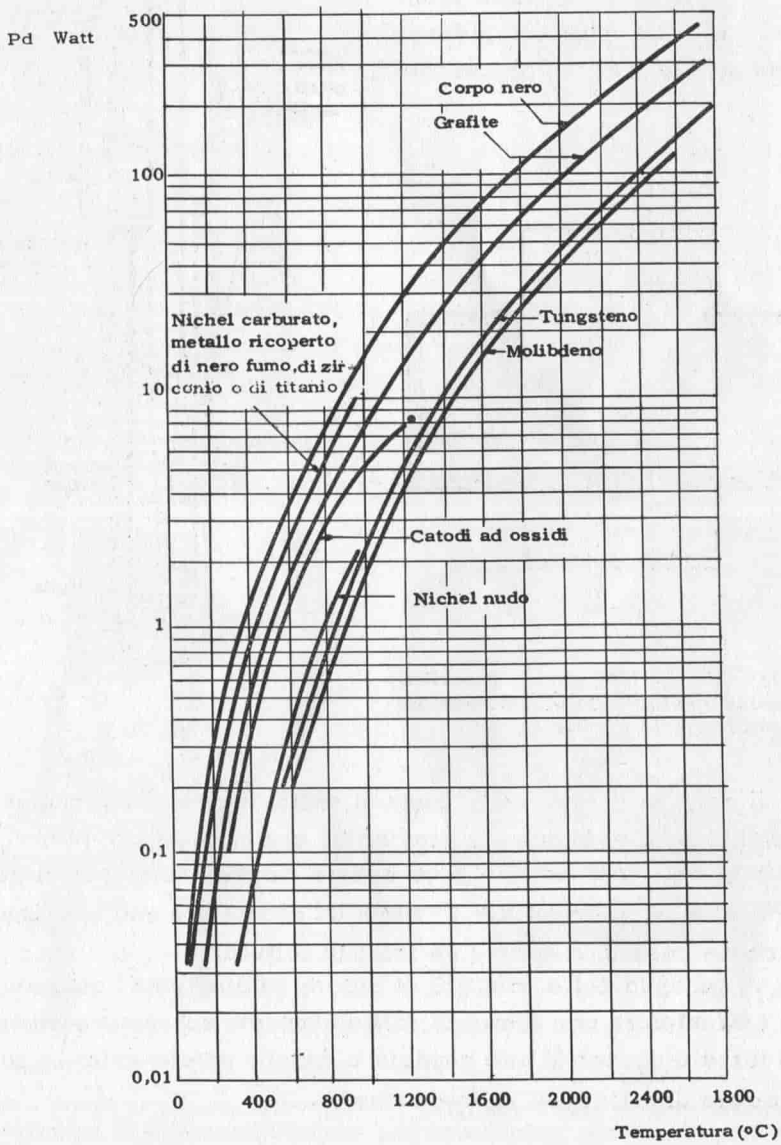


Fig. 94

Il rame utilizzato per la costruzione degli anodi di questo tipo deve avere un grado di purezza non inferiore al 99,92%; deve essere esente da ossigeno e da ossidi ed inoltre non deve essere poroso.

Il cilindro di rame viene saldato al vetro che completa la parte rimanente dell'involucro del tubo.

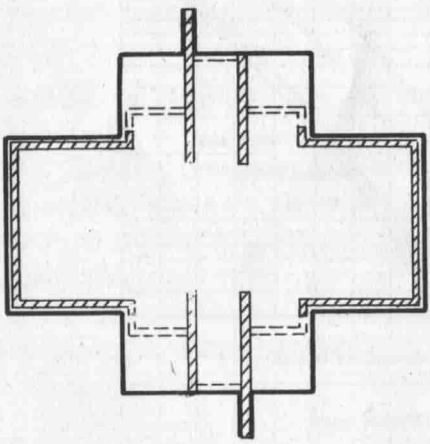


Fig. 95 - Sezione indicante le posizioni dell'anodo interno e dell'anodo esterno del pentodo finale PL 500

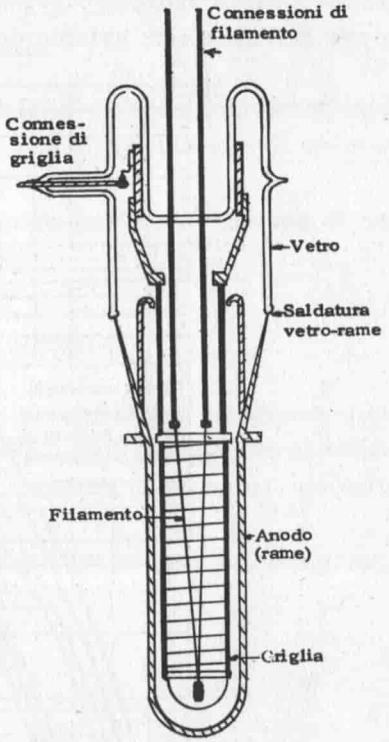


Fig. 96

Il rame si salda molto bene al vetro tenero, ma a causa del suo coefficiente di dilatazione più elevato di quello del vetro ($170 \cdot 10^{-7}$ rispetto a $95 \cdot 10^{-7}$) il metallo deve essere ridotto, nel punto di saldatura ad uno spessore molto sottile in modo da acquistare una grande elasticità riducendo così al minimo i pericoli di rottura.

A seconda della quantità di calore da dissipare l'anodo viene munito di un radiatore con alette di raffreddamento sul quale soffia un getto di aria forzata oppure di una camicia a doppia parete entro la quale circola l'acqua distillata di raffreddamento.

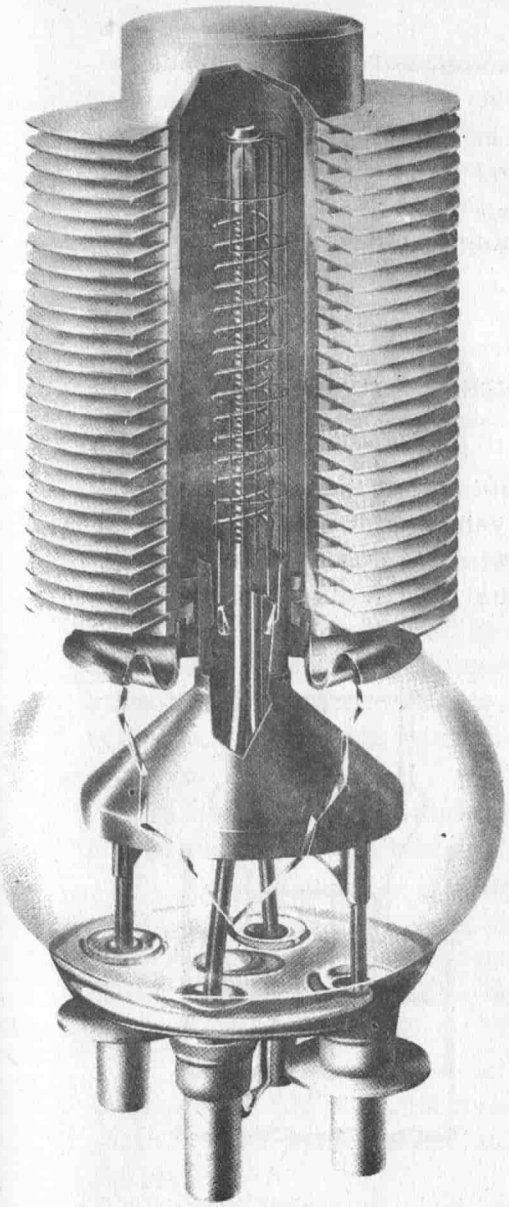


Fig. 97 - Triodo di potenza raffreddato ad aria tipo 6/4000 di costruzione Philips

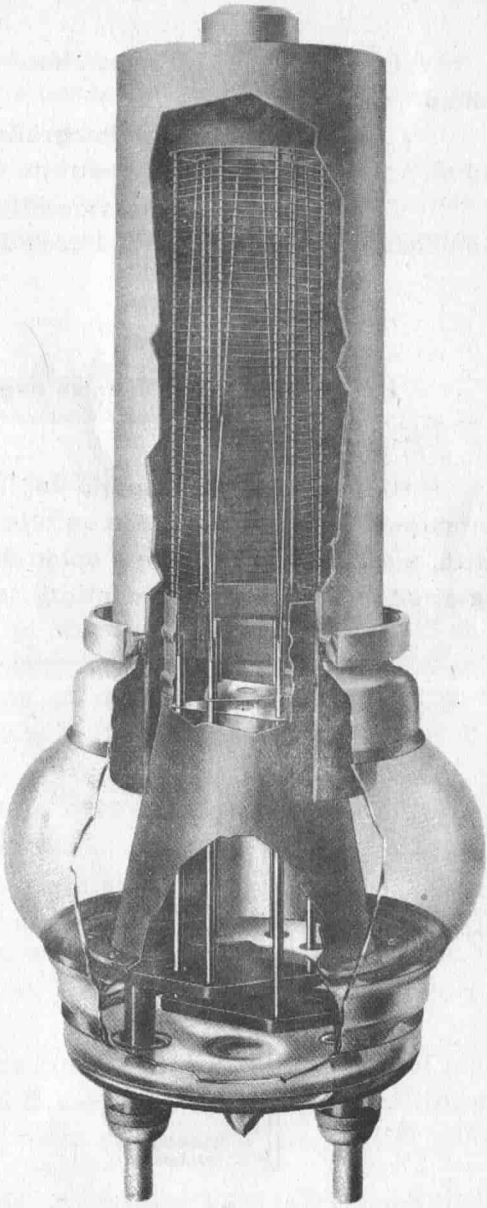


Fig. 98 - Triodo di potenza reffreddato ad acqua tipo 12/25 - 0,1 di costruzione Philips.

La fig. 96 mostra la struttura schematica di un tubo di grande potenza.

La fig. 97 mostra la fotografia di un tubo di potenza raffreddato ad aria tipo TBL 6/4000 costruito dalla Philips.

La fig. 98 mostra la fotografia di un tubo di potenza raffreddato ad acqua tipo TBW 12/25-0,1 costruito dalla Philips.

1.7 - Elementi di supporto degli elettrodi nei tubi elettronici.

Gli elementi di supporto degli elettrodi, nei tubi di vecchia costruzione, erano costituiti da un tubo di vetro schiacciato ad una estremità, mediante lavorazione a caldo del vetro con fiamma a gas, sormontato ed attraversato da conduttori metallici saldati al vetro fig. 99.

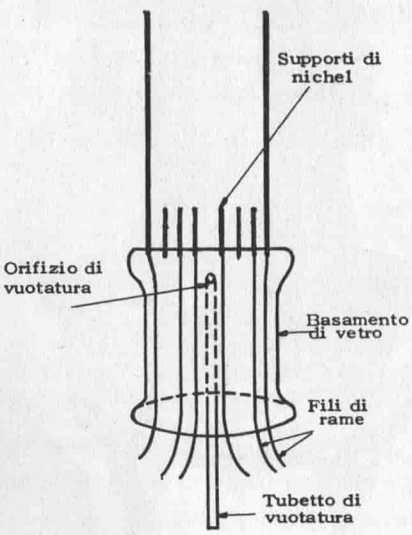


Fig. 99

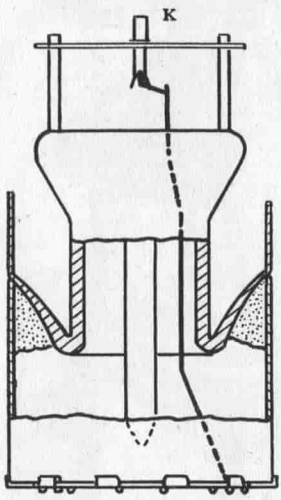


Fig. 100

I conduttori venivano disposti in modo da costituire da collegamento tra il sistema di elettrodi, da un lato, ed i piedini dello zoccolo dall'altro fig. 100.

Oggi, questo sistema di costruzione, è stato quasi totalmente sostituito da un nuovo sistema che offre numerosi vantaggi, non solo di carattere elettrico e meccanico, ma anche costruttivi.

La particolarità più importante di questo nuovo sistema è quello che allo zoccolo porta-piedini, di materiale termoindurente, si è sostituito un fondello di vetro piano attraversato da conduttori di tipo speciale fig. 101.

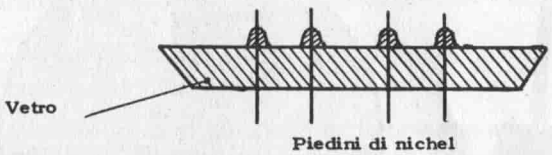


Fig. 101

Essi infatti sono del tipo a tre segmenti, fig. 102a, costituiti di un segmento centrale di filo níchel-ferro rivestito di rame alle cui estremità sono saldati, rispettivamente, un segmento di filo di nichel dolce da 1 mm di diametro ed un segmento di filo di nichel da 0,5 mm di diametro.

Il materiale di nichel utilizzato deve possedere una buona resistenza meccanica a rottura ed a flessione.

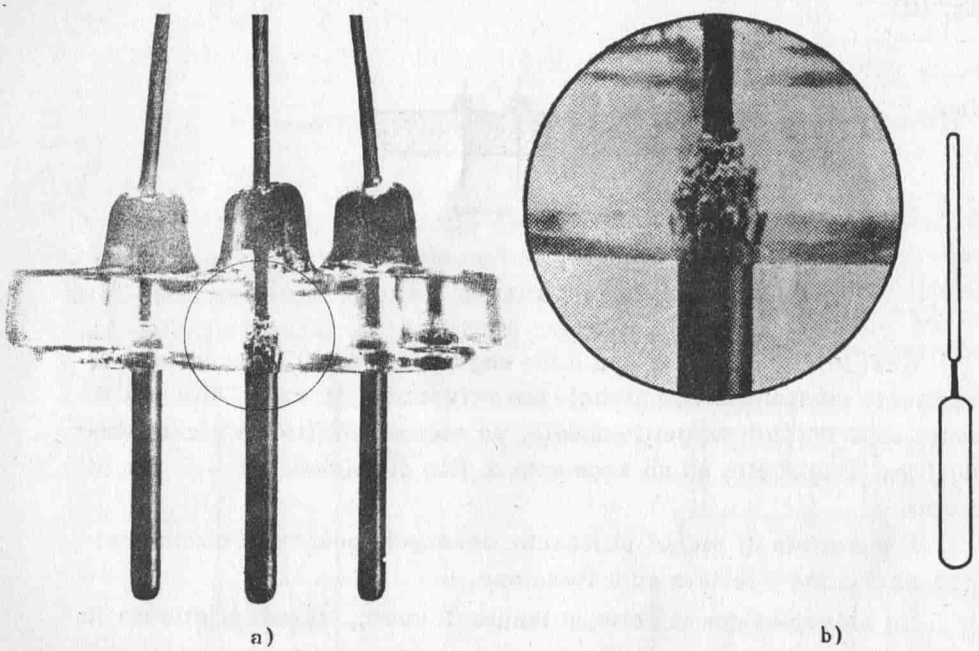
La saldatura con il vetro, a tenuta di vuoto, viene effettuata in corrispondenza del segmento di filo di nichel rivestito di rame, mentre l'estremità da 1 mm di diametro forma uno dei piedini esterni del tubo e l'estremità da 0,5 mm costituisce uno dei supporti a cui è collegato ed ancorato il circuito elettrico interno.

Durante la saldatura del conduttore, nel fondello di vetro si forma intorno al filo di nichel rivestito di rame, un cuscinetto di bollicine gassose che restano incorporate nel vetro stesso nell'intorno del conduttore.

Il cuscinetto di bollicine ha il compito di attenuare le sollecitazioni meccaniche che si generano nel vetro per un eventuale piegamento dei piedini.

Le sollecitazioni meccaniche in questo caso provocano solo la rottura di alcune bollicine del cuscinetto senza rompere il fondello del tubo.

La fotografia in fig. 102 b mostra chiaramente la formazione di bollicine cuscinetto della saldatura del conduttore, di nichel-ferro rivestite di rame, con il vetro.



a) b)

Fig. 102 - Saldatura vetro metallo effettuata con lega «gassy» della Wiggin.

I tubi elettronici con fondello di vetro presentano, rispetto ai tubi di vecchia costruzione i seguenti vantaggi principali:

1) *Minori dimensioni di ingombro.*

Questa particolarità permette la costruzione di apparecchiature con minori dimensioni di ingombro e di minor costo.

2) Maggiore robustezza meccanica dovuta al sistema di fissaggio degli elettrodi notevolmente più robusto.

Questa particolarità conferisce al tubo una maggiore resistenza alle vibrazioni ed agli urti; inoltre riduce notevolmente l'effetto microfonico.

L'utilizzazione del fondello di base, porta piedini terminali, in vetro, al posto dello zoccolo di materiale termoindurente, elimina, eventuali corto circuiti fra i conduttori di collegamento ed eventuali difetti dovuti a saldature difettose fra conduttori di collegamento e piedini terminali.

3) Basso valore di temperatura di funzionamento del tubo.

Questa caratteristica è dovuta alla migliore dissipazione di calore che avviene, non solo per irraggiamento, come nei tubi di vecchia costruzione, ma anche per conduzione attraverso i piedini terminali.

4) Minori valori di capacità e di induttanza interelettrodiche e maggiore stabilità degli stessi con il variare della temperatura.

Questi miglioramenti sono dovuti alle ridotte dimensioni dei collegamenti degli elettrodi con il circuito esterno ed alla maggiore stabilità delle caratteristiche dielettriche del fondello di vetro rispetto allo zoccolo di materiale termoindurente.

1.8 - Il getter o capsula di esplosione.

Nei tubi elettronici, dopo l'operazione di vuotatura e la saldatura del tubetto di aspirazione, il grado di vuoto, raggiunto con le pompe, viene migliorato ricorrendo ad un metallo assorbente che viene volatilizzato nell'interno del tubo allo scopo di rimuovere tutti i gas residui.

A questo scopo, durante l'operazione di montaggio del tubo, oltre agli elettrodi costituenti il tubo stesso, viene fissato su uno dei supporti, il più possibile lontano dagli elettrodi, un piccolo componente detto getter o capsula di esplosione.

Il getter è generalmente costituito da uno speciale supporto metallico sul quale viene posto, trattenuto da una reticella, un piccolo quantitativo di magnesio, bario, berillio o di altro materiale alcalino-terroso.

La vaporizzazione di questi metalli oltre a migliorare il grado di vuoto ha la funzione di assorbire i gas che si sprigionano, dai materiali costituenti gli elettrodi del tubo, durante il normale funzionamento.

Il tipo di getter più comunemente usato è quello costituito da una miscela di bario e magnesio.

Il magnesio ha la funzione di proteggere il bario dall'ossidazione durante le operazioni di montaggio.

Un altro sistema di protezione consiste nel chiudere il bario in un tubetto di nichel di spessore sottilissimo, in modo da mantenerlo fuori dal contatto con l'aria, fino al momento dell'esplosione.

Il tubetto così preparato viene saldato su un sostegno come in fig. 103 in modo da formare una spira chiusa.

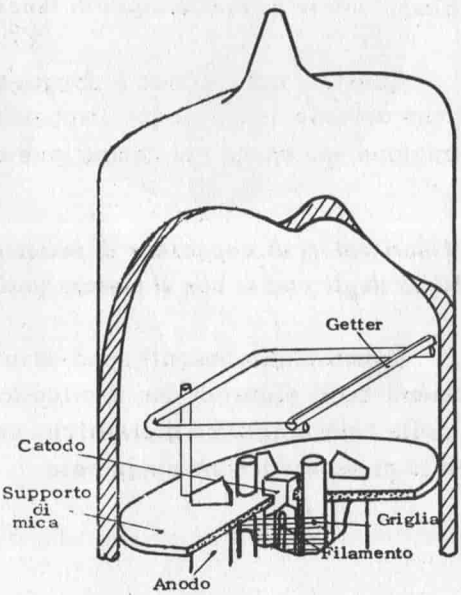


Fig. 103

L'esplosione di questo tipo di getter si ottiene riscaldando la spira mediante circolazione di correnti indotte.

1.9 - Costruzione di un tubo elettronico.

Il metodo di costruzione di un tubo elettronico varia, sia da costruttore a costruttore, sia per le svariate tecniche costruttive impiegate in funzione delle caratteristiche di funzionamento richieste dal tubo.

Poiché i principi generali ed i materiali che compongono un tubo elettronico sono in linea di massima gli stessi, qualunque sia la tecnica costruttiva, ci limiteremo ad una descrizione sommaria delle varie fasi di lavorazione.

La prima fase riguarda la sistemazione dei vari elettrodi ed il loro fissaggio mediante saldatura elettrica per punti sui supporti del fondello.

La seconda riguarda le operazioni di saldatura del fondello di vetro al bulbo fig. 104.

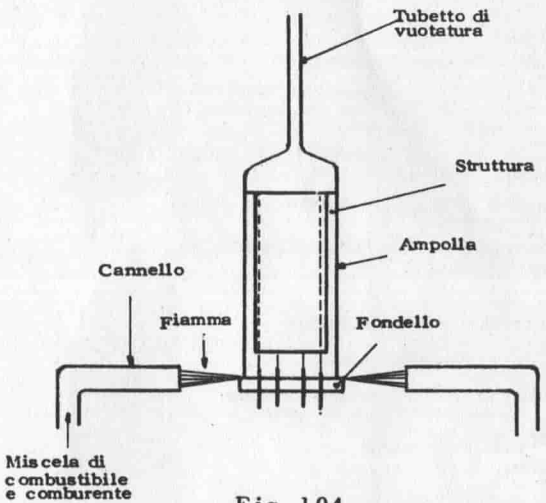


Fig. 104

Il bulbo è generalmente di vetro, ma può essere di metallo con dei passaggi in vetro per l'isolamento dei conduttori che l'attraversano.

Inoltre in alcuni tipi di tubi speciali esso può essere formato da cilindri di vetro alternati con cilindri di metallo (Klystron ecc.) da cilindri di ceramica alternati a cilindri di metallo (tubi ceramici).

La saldatura del fondello alla parte terminale del bulbo viene effettuata con cannelli a fiamma ossidrica.

Segue l'operazione di vuotatura dei gas contenuti nel tubo, fino a produrre un grado di vuoto di circa 10^{-6} mm di Hg che viene effettuata collegando il tubicino di vetro del bulbo alla condotta aspirante di una pompa a vuoto.



1 - *FILAMENTO RISCALDATORE*: *filo di tungsteno ricoperto con ossido di alluminio.*

2 - *CATODO*: *tubetto di nichel ricoperto con carbonati alcalini (bario, stronzio).*

3 - *GRIGLIA CONTROLLO*: *filo di molibdeno avvolto a spirale su supporti di rame.*

4 - *GRIGLIA SCHERMO*

5 - *GRIGLIA SOPPRESSORE*

6 - *ANODO*: *ferro placcato con alluminio e successivamente annerito per migliorare la irradiazione del calore.*

7 - *SCHERMI PER I PONTI DI MICA*: *nichel.*

8 - *PONTI DI MICA*: *ricoperti con ossido di magnesio.*

9 - *NASTRINI DI COLLEGAMENTO*: *rame nichelato.*



ELETTRODO IN TRE PEZZI



ELETTRODO: *nichel*

PASSANTE: *lega ferro-nichelato con rivestimento in rame*

PIEDINO: *nichel*





FONDELLO



RADIATORI (*ferro ricoperto con alluminio annerito*)



GETTER



FONDELLO MONTATO

Fig. 105 - Componenti e varie fasi costruttive



BULBO DI VETRO
(palloncino)



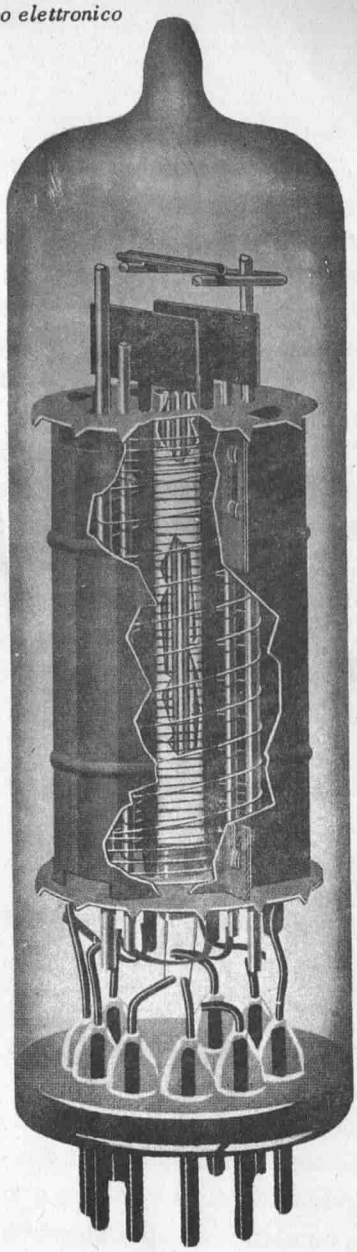
TUBO CHIUSO



TUBO VUOTATO



TUBO VUOTATO
CON GETTER EVAPORATO



di un tubo elettronico Philips tipo EL 84.

Durante questa operazione gli elettrodi vengono riscaldati con correnti a radiofrequenza per eliminare i gas occlusi nei materiali che li compongono; contemporaneamente il catodo viene riscaldato per trasformare in ossidi i carbonati, di materiale emittente, depositati su di esso.

Terminata la vuotatura si fa esplodere il *getter* in modo da provocare l'assorbimento dei gas residui ancora presenti nel tubo; dopo di che questo viene chiuso saldando e tagliando a caldo il tubicino di vuotatura.

La maggior parte di tutte queste operazioni, sommariamente accennate, vengono effettuate con macchine completamente automatiche capaci di vuotare fino a circa 2000 tubi l'ora.

Le ultime fasi della produzione riguardano l'invecchiamento, il collaudo elettrico, meccanico, funzionale e le prove di vita.

La fig. 105 mostra i componenti e le varie fasi costruttive di un tubo elettronico Philips tipo EL 84.

*

CAPITOLO II

POMPE PER IL VUOTO

II.1 - Grandezze caratteristiche di una pompa.

Il funzionamento di una pompa per il vuoto è definito da tre grandezze caratteristiche: la pressione iniziale, la velocità di estrazione, la pressione limite.

Pressione iniziale, detta anche pressione preparatoria o primaria.

Alcuni tipi di pompe funzionano inviando direttamente nell'atmosfera il gas che esse estraggono, altre invece per poter funzionare hanno bisogno di una pressione preparatoria o primaria molto inferiore a quella atmosferica e pertanto sono sempre precedute da una pompa primaria.

Velocità di estrazione di una pompa.

Si chiama velocità di estrazione o di vuotatura di una pompa ad una data pressione, il volume di gas estratto al secondo dalla pompa, misurata a pressione costante.

$$S = \left| \frac{dV}{dt} \right|_p$$

Per la maggior parte delle pompe, questa velocità varia molto in funzione della pressione. Esistono però delle pompe la cui velocità varia poco in un grande intervallo di pressione.

Pompa teorica.

Sia V il volume di un recipiente contenente un gas alla pressione P (fig. 106) se facciamo funzionare la pompa per un tempo dt, il volume V nel recipiente diminuisce di una certa quantità dv e la pressione P si abbona di dp. Poiché pv = costante si può scrivere:

$$pV = (p + dp)(V + dv) =$$

$$= pV + pdv + Vdp + dp \cdot dv$$

trascurando dp · dv si ricava:

$$p \cdot dv = - V \cdot dp$$

e

$$dv = - V \cdot \frac{dp}{p}$$

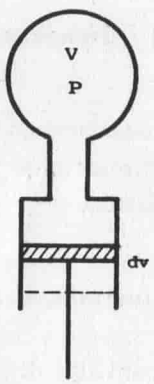


Fig. 106

Dividendo membro a membro per dt si ha:

$$S = \frac{dv}{dt} = - \frac{V}{p} \cdot \frac{dp}{dt}$$

separando le variabili p e t e integrando fra i due valori di p_0 e di p_1 della pressione corrispondente ai tempi t_0 e t_1 si ricava:

II.1-(1)
$$S = \frac{2{,}3\ V}{t_1 - t_0} \log \frac{p_c}{p_1}$$

Questa è la formula di Gaede, che permette di calcolare la velocità di estrazione media di una pompa nell'intervallo $(p_0\ t_0)$, $(p_1\ t_1)$.

La II.1-(1) espressa sotto forma esponenziale:

II.1-(2)
$$p = p_0\ e^{-\left(\frac{S}{V}\right)t}$$

fornisce la variazione di pressione in un recipiente di volume V e di pressione iniziale p_0 quando per fare il vuoto si utilizza una pompa di velocità S, supposta costante fig. 107.

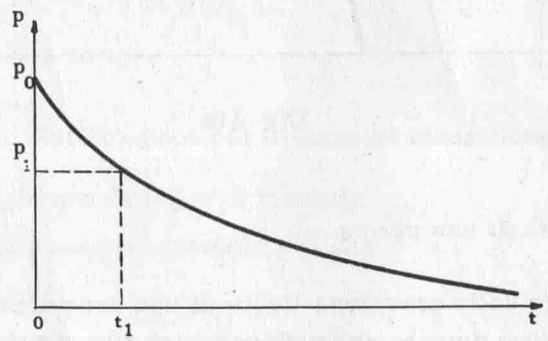


Fig. 107

Dalla II.1-(2) si vede che con una pompa teoricamente perfetta (cioè con velocità di vuotatura costante qualunque sia la pressione), non si può annullare la pressione; essa infatti risulta divisa per e = 2,718 ogni volta che il tempo aumenta di una quantità uguale V/s .

Pompe reali.

La velocità di vuotatura di una pompa reale può essere considerata costante solo in un piccolo intervallo di pressione. Questo intervallo varia con il variare del principio di funzionamento della pompa.

In particolare non esiste una pompa che può dare una pressione nulla in un intervallo infinitamente lungo.

Tutte le pompe sono caratterizzate da una pressione limite, sia dovuta alla loro costruzione meccanica, sia dovuta al loro principio di funzionamento fig. 108.

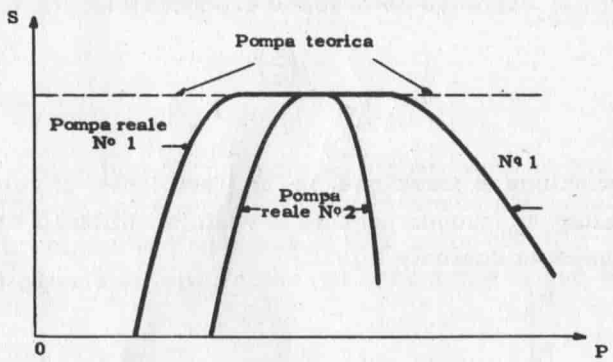


Fig. 108

Pressione limite di una pompa.

Il valore della pressione limite di una pompa, per la quale la velocità di vuotatura diventa nulla dipende dai seguenti fattori:

1) Inperfezioni costruttive meccaniche che provocano fughe sui manicotti di giunzione o sulle parti in rotazione; spazi nocivi situati nelle vicinanze degli orifizi di aspirazione e di evacuazione, ove il gas non è sottoposto al processo di evacuazione e per conseguenza mantiene una pressione residua.

2) ***Pressione di vapore*** dei liquidi utilizzati sia come lubrificanti, sia per il funzionamento della pompa stessa (a questo inconveniente si può rimediare interponendo fra la pompa ed il recipiente da vuotare un refrigeratore in modo da condensare i vapori che si generano.

A causa della pressione limite, la formula che esprime il valore della variazione di pressione, in un recipiente, in funzione del tempo, diventa:

$$p = (p_0 - p_l)\, e^{-\left(\frac{S}{V}\right)t} + p_l$$

ove p_l = pressione limite.

La curva $p = f(t)$ diventa, in questo caso, asintotica per $p = p_l$ anziché come per il caso teorico per $p = 0$.

Pertanto, poiché p_0 e p_l sono i valori della pressione ai tempi t_0 e t_1, la velocità media della pompa in questo intervallo è data dalla formula:

$$S = \frac{2{,}3\ V}{t_1 - t_0} \log \frac{p_0 - p_l}{p_1 - p_l}$$

Classificazione delle pompe.

I principali tipi di pompe per il vuoto si classificano in:

1) *Pompe che applicano la legge di Mariotte*
2) *Pompe che utilizzano la viscosità dei gas*
3) *Pompe molecolari*
4) *Pompe utilizzanti i fenomeni di diffusione.*

II.2 - Pompe che applicano la legge di Mariotte.

a) Pompa a pistone.

E' il primo tipo di pompa che è stata utilizzata per fare il vuoto. Essa è costituita, fig. 109, da un cilindro munito di valvole S_1, S_2 e da due tubi di collegamento, l'uno in comunicazione con il recipiente da vuotare e l'altro con l'esterno.

La pressione limite p_1 che si può realizzare con questa pompa dipende dal minimo volume V non nullo corrispondente allo spazio compreso fra il fondo del cilindro ed il pistone, quando questo è tutto abbassato. Sia v il volume minimo e V il volume massimo.

Quando il pistone è in fondo al cilindro il volume v di gas è alla pressione atmosferica di 760 mm di Hg.

Quando il pistone è dll'altra estremità la pressione p_1 nel cilindro è tale che:

$$v \cdot 760 = p_1 V$$

da cui:

$$p_1 = \frac{v}{V} 760 \text{ mm di Hg}$$

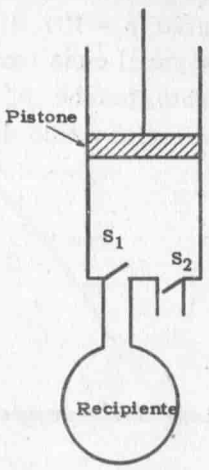


Fig. 109

Se la pressione del gas contenuto nel recipiente da vuotare è uguale o minore a p_1 la valvola S_1 non si apre; si deduce pertanto che, trascurando tutte le altre cause di limitazione, il valore di p_1 corrisponde alla minima pressione realizzabile con questa pompa.

Pompa rotativa a paletta.

Questo tipo di pompa viene tuttora impiegata per fare il vuoto preparatorio.

Essa è costituita da due elementi cilindrici: un rotore ed uno statore. Il rotore, di diametro minore dello statore ruota all'interno di questo mantenendosi tangente lungo la generatrice M fig. 110.

Lo statore è munito di due fori uno di aspirazione ed uno di espulsione. Il rotore è munito di due fenditure diametralmente opposte entro le quali scorrono due palette P_1 e P_2. Queste, mediante una molla centrale, sono tenute costantemente a contatto con la parete dello statore.

Le palette determinano tre cavità fra lo statore ed il rotore e precisamente: una cavità di aspirazione, una di trasferimento ed una di espulsione.

Facendo ruotare il rotore nel senso della freccia il volume della cavità di aspirazione aumenta, ciò abbassa la pressione nel recipiente ad esso collegato. Appena la paletta P_2 sorpassa la generatrice M, la cavità di aspirazione diviene cavità di trasferimento. Infine, quando P_1 sorpassa il foro di espulsione, la cavità di trasferimento diviene cavità di espulsione ed il gas viene compresso verso l'esterno.

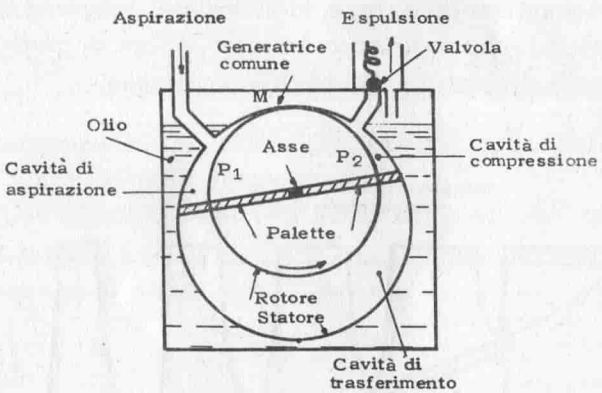


Fig. 110

Durante questo ciclo si è formata con P_2 una nuova cavità di aspirazione relativa ad un nuovo ciclo.

Gli spazi compresi fra ciascuno dei fori e la generatrice M sono spazi nocivi. Inoltre nello spazio di destra i gas sono fortemente compressi rispetto a quelli contenuti nello spazio di sinistra. Ciò da luogo a delle perdite di pressione attraverso la generatrice M.

Per rimediare a questo inconveniente si preferisce rendere secanti le superfici del rotore e dello statore figura 111.

Gli spazi nocivi sono così soppressi e le perdite di pressione attraverso la superficie di contatto risultano fortemente attenuate.

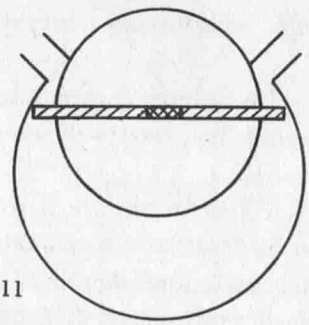


Fig. 111

Dalle curve p = f(t) mostrate in fig. 112, relative alla variazione della pressione in funzione della rotazione del rotore, sia nella cavità di aspirazione che nella cavità di espulsione notiamo che: la pressione nella cavità di aspirazione decresce regolarmente con andamento esponziale; la pressione nella cavità di espulsione oscilla fra valori sempre più decrescenti di pressione ed un valore leggermente superiore a quella atmosferica p_0, corrispondente al valore di pressione necessaria per mantenere sollevata la valvola di espulsione.

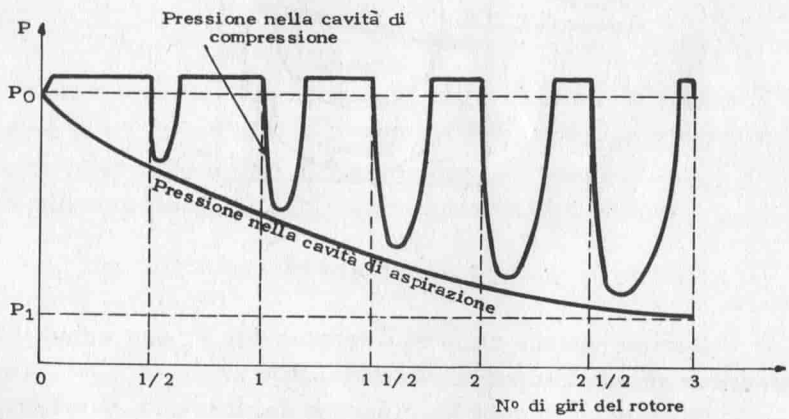


Fig. 112

Il tempo di apertura di questa valvola diminuisce ad ogni ciclo fino a rimanere chiusa quando si raggiunge la pressione limite di funzionamento della pompa.

Le pompe a palette hanno una velocità di vuotatura, variabile, a seconda della grandezza della pompa, da 2 m^3/h a 2000 m^3/h fino alla pressione di 0,1 mm Hg.

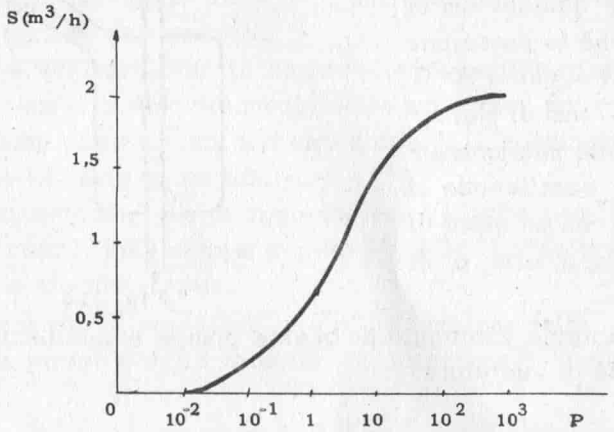


Fig. 113

Il diagramma in fig. 113 mostra la variazione della velocità di vuotatura in funzione della pressione.

Con una pompa a palette in buono stato si può raggiungere una pressione di vuoto limite di 10^{-2} mm Hg. Collegando due pompe in serie si può raggiungere un vuoto di 10^{-3} mm Hg.

II.3 - Pompe che utilizzano la viscosità dei gas.

Queste pompe si basano sul seguente principio: se un fluido, gas o liquido, viene immesso in un tubo di diametro variabile a forma di imbuto, si crea una depressione all'imboccatura del tubo.

Mettendo questo punto in comunicazione con il recipiente da vuotare si può ottenere la vuotatura di un recipiente per trascinamento del gas nel fluido.

Su questo principio funziona la pompa a caduta di acqua figura 114. Questo tipo di pompa però non può dare pressioni inferiori a qualche cm di mercurio poiché la pressione di vapore dell'acqua a 20° C è di appena 17 mm di Hg.

Un netto miglioramento si ottiene sostituendo il getto d'acqua con un getto di vapore acqueo, d'olio, o di mercurio.

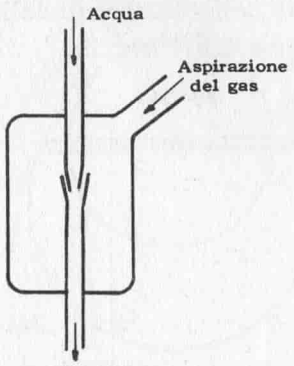


Fig. 114

Il principale vantaggio di queste pompe è quello di avere un'elevata velocità di vuotatura.

Pompe molecolari.

Le pompe molecolari sfruttano il principio della teoria cinetica dei gas. Il loro funzionamento è pertanto diverso da quello delle pompe già viste. Infatti nelle pompe già studiate il gas può essere considerato come un fluido continuo, mentre nelle pompe molecolari il gas deve essere considerato come un insieme di particelle elementari indipendenti fra loro. Per raggiungere questa condizione è necessario un vuoto preparatorio che può variare a seconda dei gas da 1 a 20 mm di Hg.

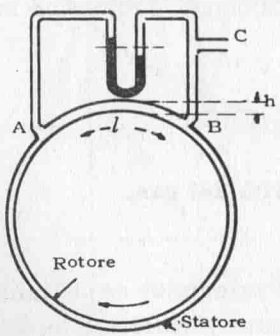


Fig. 115

In queste condizioni, se le molecole di un gas vengono a contatto con una superficie animata da forte velocità, esse ricevono una spinta nel senso dello spostamento della superficie.

Consideriamo un rotore a tamburo liscio ruotante in uno statore con un traferro piccolissimo fig. 115.

Su di un arco di cerchio di lunghezza l è ricavato un canale AB di sezione S e di altezza h; le due estremità del canale sono collegate ad un manometro.

Per mezzo del tubo c si fà il vuoto preparatorio.

Facendo girare il cilindro nel senso orario si nota che la pressione in A diminuisce di tanto, quanto aumenta quella in B. Inoltre la differenza di pressione fra A e B aumenta con l'aumentare della velocità di rotazione del tamburo.

Ciò è evidente, infatti, se la velocità periferica del tamburo diventa superiore alla velocità media delle molecole, solo un piccolo numero di queste potrà tornare indietro e quindi il trascinamento delle molecole verso B sarà quasi totale.

Questa condizione si aggiunge con velocità periferiche superiori a 500 m/sec. Il funzionamento però è già soddisfacente per valori di velocità di circa 100 m/sec.

Il rapporto di pressione p_A/p_B è funzione della perfezione meccanica della pompa e della velocità di rotazione, esso è compreso fra 10^{-5} e 10^{-7}.

Con un vuoto preparatorio di 1 mm di Hg si può raggiungere una pressione limite di 10^{-6} mm di Hg.

La velocità di estrazione di una pompa molecolare varia proporzionalmente alla radice quadrata della massa delle molecole.

Su questo principio si basa il funzionamento della pompa molecolare di Holweck.

Pompa molecolare di Holweck.

Essa è costituita fig. 116 da un rotore a tamburo perfettamente liscio ruotante in uno statore con un traferro non superiore a 0,03 mm. Nello statore sono praticati dei canali elicoidali la cui profondità, di 0,5 mm ai bordi della pompa, aumenta verso il centro fino a 12 mm. Questi canali formano due eliche a passo inverso da un lato e dall'altro del piano mediano. Il vuoto preparatorio viene applicato ai bordi esterni delpompa e il vuoto spinto viene ottenuto al centro.

Per evitare fughe, la rotazione del rotore è ottenuta con un motore a induzione il cui rotore è separato dallo statore per mezzo di un cilidro di rame sottile, stagno, come mostrato in fig. 116. Il rotore è montato su cuscinetti a sfere.

La pompa molecolare di Holweck ha: il rotore del diametro di 150 mm e della lunghezza di 220 mm, una velocità di rotazione di 4500 g/1'; una velocità di estrazione, sensibilmente costante, tra 0,1 e 0,001 di Hg, di 2500 cm^3/sec, un vuoto limite di circa 10^{-6} mm di Hg con un vuoto preparatorio di circa 20 mm di Hg.

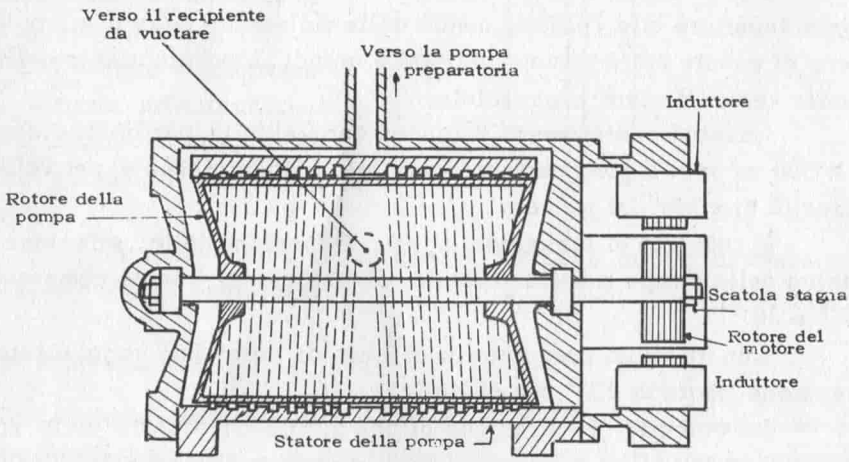


Fig. 116

Le pompe molecolari, molto vantaggiose per la semplicità di funzionamento, hanno però lo svantaggio di richiedere componenti di elevata precisione meccanica e quindi di alto prezzo.

II.4 - Pompe a diffusione.

Il principio di funzionamento di queste pompe, come le pompe molecolari, si basa sulla teoria cinetica dei gas.

In questo caso però le molecole del gas da evacuare vengono trascinate verso il vuoto preparatorio dal flusso di un gas di tipo diverso e di determinate caratteristiche, detto fluido di pompaggio.

Descriviamo qui di seguito il principio di funzionamento di una pompa a diffusione ideata da Langmuir nel 1916 e schematicamente raffigurato in fig. 117.

Supponiamo di immettere nella tubazione AB un fluido di pompaggio, costituito da un gas facilmente condensabile, provvisto di una pressione tale, da urtare sulle pareti raffreddate CD e di condensarsi prima di avere il tempo di risalire verso la canalizzazione che porta al recipiente da vuotare.

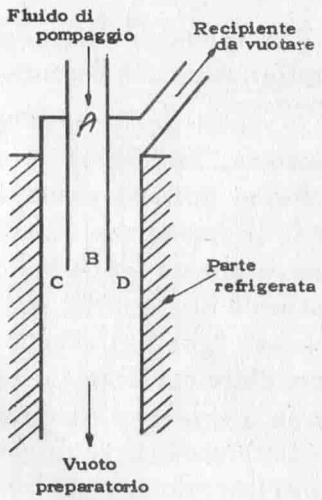


Fig. 117

Questo gas appena fuori dall'orifizio della tubazione AB urta le molecole di gas provenienti dal recipiente da vuotare; si verifica così un fenomeno di diffusione e di trascinamento verso il basso delle molecole di gas da vuotare. Appena la miscela così costituita tocca le pareti del recipiente CD, fortemente raffreddato, il gas che costituisce il fluido di pompaggio si condensa, mentre le molecole di gas provenienti dal recipiente da vuotare vengono aspirate dal vuoto preparatorio.

Pompe a diffusione di vapori di mercurio.

Il mercurio viene correntemente utilizzato nelle pompe a diffusione, sotto forma di vapore, come fluido di pompaggio, perché presenta i seguenti vantaggi:

1) Liquido a temperatura ordinaria, esso bolle, alla temperatura di 120° C sotto un vuoto di 1 mm di Hg.

2) Circola facilmente nelle pompe senza bagnare e senza lasciare depositi.

3) Eventuali ossidi che si possono formare si dissociano facilmente sotto vuoto.

4) I recipienti bollitori delle pompe sono di semplice costruzione per la caratteristica del mercurio di essere un buon conduttore di calore.

5) Il vapore di mercurio si condensa facilmente per semplice raffreddamento a 20° C; la pressione di vapore a questa temperatura è di circa 10^{-3} mm Hg, molto bassa per la maggior parte delle applicazioni. Le pompe a vapore di mercurio si costruiscono in vetro per uso di laboratorio ed in metallo per uso industriale.

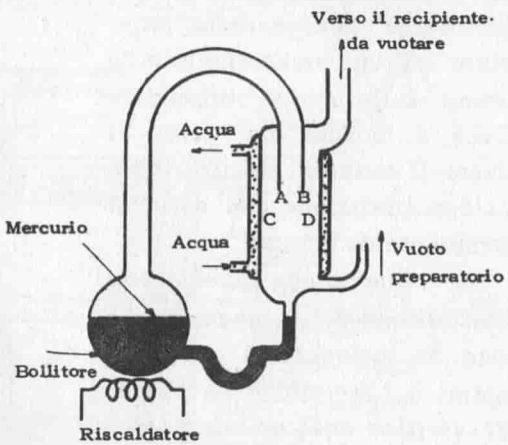


Fig. 118

Il modello più semplice in vetro è mostrato in fig. 118.

Il mercurio viene riscaldato in un bollitore per mezzo di un becco di Bunsen o un riscaldatore elettrico a resistenza.

Il vapore di mercurio raggiunge attraverso la tubazione di raccordo l'orifizio **AB** e si diffonde con le molecole di gas provenienti dal recipiente da vuotare. Queste molecole urtano con il vapore di mercurio e vengono da questo trascinate in basso, verso le pareti CD, raffreddate mediante circolazione di acqua. Qui il vapore di mercurio si condensa e ritorna nel bollitore, mediante apposito condotto, mentre le molecole di gas provenienti dal recipiente da vuotare vengono eliminate per mezzo del vuoto preparatorio, generalmente ottenuto con pompe del tipo a palette.

Con le pompe a diffusione si possono raggiungere velocità di vuotatura di qualche litro/sec, con un grado di vuoto di 10^{-2} mm di Hg ed un vuoto preparatorio di circa 1 mm di Hg.

La fig. 119 mostra un tipo di pompa a mercurio per diffusione, in metallo, per uso industriale. Queste pompe generalmente sono provviste

di un eiettore che ha la funzione di ridurre fino a valori di 5 ÷ 10 mm di Hg il grado di vuoto richiesto dalla pompa preparatoria.

Queste pompe, a seconda della loro grandezza hanno una velocità di vuotatura variabile da 3 a 10000 litri / sec con un grado di vuoto di 10^{-2} mm di Hg.

Il grado di vuoto è limitato dalla pressione di vapore del mercurio. Alla temperatura di 20° C si può pertanto raggiungere un grado di vuoto limite di 10^{-3} mm di Hg.

Interponendo fra la pompa ed il recipiente da vuotare un sistema di raffreddamento, in modo da condensare i vapori di mercurio si possono raggiungere valori di vuoto limite superiori.

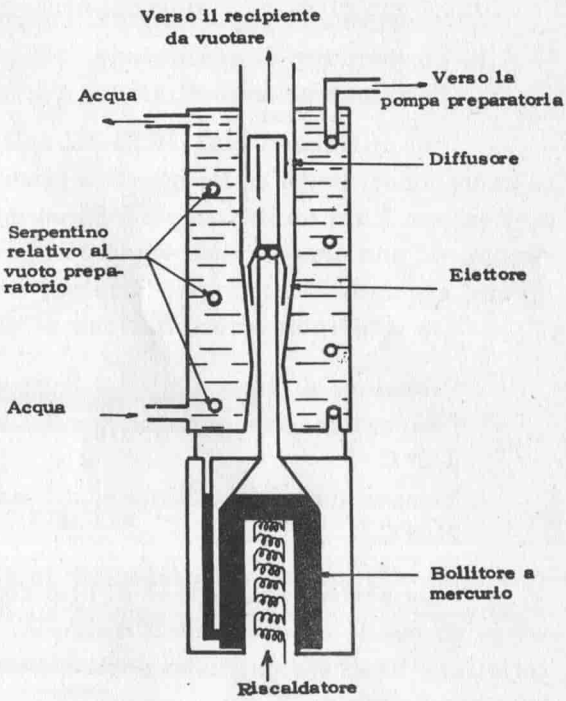


Fig. 119

Pompe a diffusione di vapori di olio.

Il vuoto limite nelle pompe a diffusione dipende principalmente dalla pressione di vapore del gas utilizzato come fluido di pompaggio, alla temperatura di raffreddamento e dal grado di diffusione del fluido di pompaggio verso il recipiente da vuotare, diffusione che difficilmente può essere completamente eliminata.

A questo scopo oggi si utilizzano come fluidi di pompaggio alcuni tipi di oli, aventi a 20° C una tensione di vapore inferiore a quella

del mercurio. Il tipo di olio più comunemente utilizzato è l'olio Apiezon(*) ricavato dalla distillazione del petrolio. Le principali caratteristiche di quest'olio sono:

Pressione di vapore a 20° C uguale a $3 \cdot 10^{-7}$ mm di Hg
Temperatura di ebollizione, a 0,1 mm di Hg, 160° C
Temperatura di ebollizione, a 1 mm di Hg, 200° C.

Si utilizzano oggi anche oli soliconici con i quali è possibile ricavare valori limiti molto bassi di pressione, senza raffreddamento supplementare. Essi infatti possiedono un bassissimo valore di tensione di vapore, ed una elevata resistenza alla decomposizione a temperature elevate, sia sotto l'azione dell'aria che sotto l'azione dell'olio caldo.

Le principali caratteristiche di questi oli sono

Pressione di vapore a 20° C compresa fra $10^{-8} \div 10^{-10}$ mm Hg
Temperatura di ebollizione, a 0,1 mm di Hg compresa tra 145° e 210° C
Temperatura di ebollizione, a 1 mm di Hg, compresa tra 190° e 250° C.

Le pompe a diffusione di olio sono, costruttivamente un po' diverse da quelle a diffusione di mercurio, ciò a causa delle diverse caratteristiche fisiche e chimiche degli oli rispetto al mercurio. Esse infatti sono provviste:

a) di un bollitore a fondo piatto e quindi a grande superficie di riscaldamento a causa del debole valore di conducibilità termica degli oli.

b) di schermi per evitare la proiezioni di goccioline di olio nella zona ad alto vuoto, ciò a causa della minore densità dell'olio rispetto a quella del mercurio.

c) di due o più bollitori collegati come in fig. 120 per ridurre al minimo l'effetto dovuto alla dissociazione dell'olio sotto l'azione concomitante dell'aumento di temperatura e della diminuzione di pressione, con produzione di composti aventi valori più elevati di tensione di vapore.

A questo scopo le pompe sono realizzate in modo da far accumulare i prodotti dissociati, più volatili e con maggiore tensione di vapore verso la regione del bollitore più vicino al vuoto preparatorio.

(*) - Brevetto Shell.

La figura 121 mostra una pompa a diffusione di olio in metallo per uso industriale con unico bollitore ma con tre tubi diffusori distinti e concentrici aventi l'estremità inferiore a contatto con l'olio.

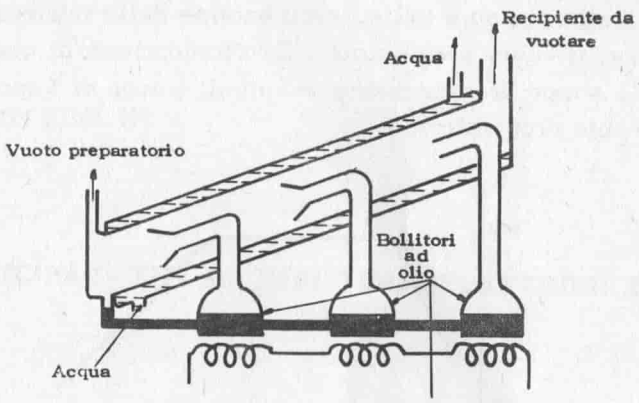


Fig. 120

Attraverso questi tre tubi si diffondono i vapori di olio differenziati in funzione della loro tensione di vapore. I vapori con minore ten-

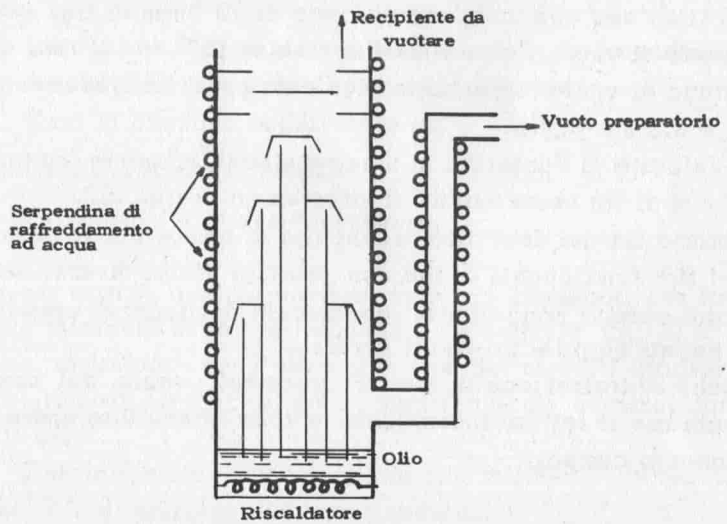


Fig. 121

sione di vapore si diffondono attraverso il tubo centrale, nella zona dell'alto vuoto, mentre quelli con maggiore tensione di vapore si diffondono attraverso il tubo più esterno, nella zona del vuoto preparatorio. Il raffreddamento della superficie esterna della pompa viene generalmente ottenuto mediante circolazione di acqua in un serpentino posto sulle pareti esterne della pompa e sulle pareti esterne della tubazione che porta alla pompa per il vuoto preparatorio. Il raffreddamento di quest'ultima tubazione ha lo scopo di condensare eventuali tracce di vapori di olio aspirati dal vuoto preparatorio.

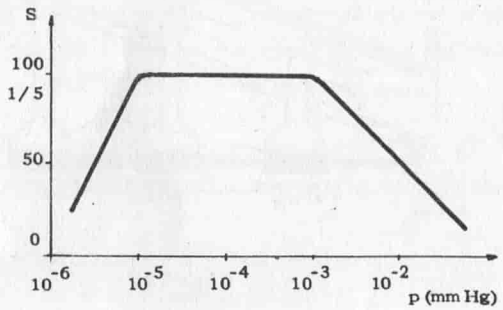


Fig. 122

Queste pompe possono fornire velocità di vuotatura comprese fra 10 e 20.000 litri/sec con un grado di vuoto di 10^{-4} mm di Hg.

Il grado di vuoto limite è dell'ordine di $10^{-6} \div 10^{-7}$ mm di Hg.

Il grado di vuoto preparatorio richiesto per il funzionamento si aggira tra 0,1 e 0,5 mm di Hg.

La velocità di vuotatura si mantiene sensibilmente costante tra 10^{-3} e 10^{-5} mm di Hg come mostra il diagramma in fig. 122.

Abbiamo fin qui descritto alcuni tipi di pompe per il vuoto ma vi sono diversi tipi funzionanti anche con principi fisici diversi da quelli descritti come pure vi sono diversi apparecchi di misura di pressione anche questi basati su principi fisici diversi.

Poiché la trattazione di questi argomenti esula dal nostro programma preghiamo il lettore interessato a voler consultare opere specializzate in questo campo.

*

CAPITOLO III

PRINCIPALI TIPI DI TUBI TERMOELETTRONICI A VUOTO.

III.1 - Il diodo.

Si chiama diodo un tubo costituito da due elettrodi: il catodo e l'anodo.

I diodi vengono impiegati, sfruttando la loro conduzione unilaterale, per il raddrizzamento di correnti alternate.

Essi si possono suddividere in:

a) diodi rettificatori di potenza

b) diodi rivelatori o di demodulazione.

a) I diodi rettificatori di potenza vengono impiegati per trasformare la tensione alternata di rete a frequenza industriale (50 c/s), in tensione continua, utilizzata: per l'alimentazione dei circuiti anodici nelle apparecchiature radioelettriche, per la ricarica degli accumulatori e per altri svariati usi.

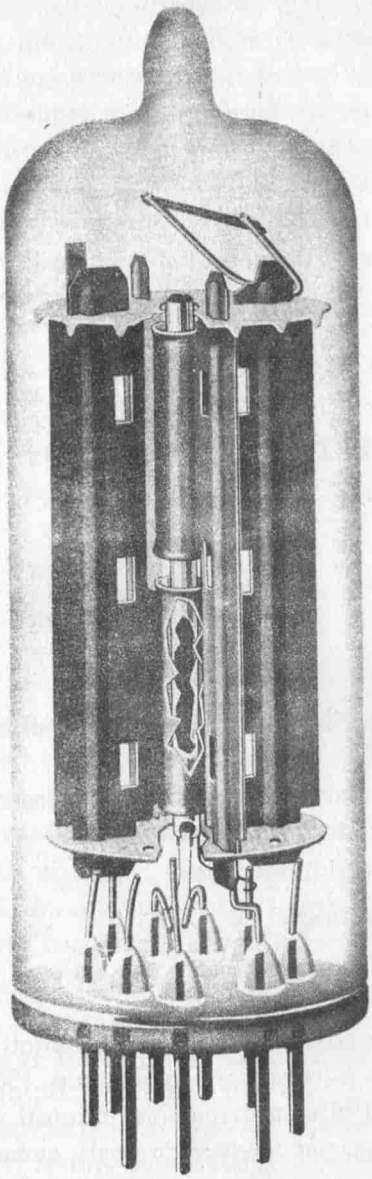
Esistono diodi a vuoto spinto fino a 100 kV di tensione inversa ed oltre 7A di corrente di picco anodica.

Il rendimento di questi tubi è elevato specie per grandi potenze, poiché la c.d.p. nel tubo è costituita da una piccola frazione della tensione di uscita e la potenza di accensione non è eccessiva.

Tensione di accensione del filamento:
6,3 V

Corrente di accensione del filamento:
0,6 A

Corrente raddrizzata:
90 m A



Catodo a riscaldamento indiretto. Viene impiegato principalmente per raddrizzare la tensione di rete la quale, dopo essere stata sufficientemente livellata, viene usata come tensione di alimentazione anodica dei tubi elettronici.

Doppio diodo (due semionde) tipo EZ 80 di costruzione Philips.

Fig. 123

I diodi possono essere del tipo a riscaldamento diretto e del tipo a riscaldamento indiretto.

I diodi previsti per funzionare con tensioni di lavoro massime di 500 V e correnti di qualche centinaio di mA sono costruiti con catodo ad ossido, mentre i diodi previsti per funzionare con tensioni elevate sono costruiti con catodi di tungsteno.

Gli anodi sono generalmente costruiti con materiali aventi un elevato coefficiente di dissipazione termica e provvisti di alette di raffreddamento, se la dissipazione di calore avviene per irraggiamento. Sono invece costruiti in rame se il loro raffreddamento è realizzato mediante circolazione forzata di aria o di liquido (acqua distillata petrolio ecc). La fig. 123 mostra un doppio diodo, con catodo a riscaldamento indiretto tipo EZ 80 di costruzione Philips.

b) I diodi rivelatori o di demodulazione di piccole dimensioni, adatti per rettificare correnti dell'ordine del milliampere e tensioni dell'ordine del volt a frequenze elevate, vengono impiegati, nella maggior parte dei casi, come rivelatori a frequenza intermedia nei radioricevitori, nei televisori; ed in apparecchiature professionali, come separatori di impulsi. Essi sono costruiti in modo da avere un piccolissimo valore di capacità catodo-anodo ed un piccolo valore di tempo di transito.

III.2 - Il triodo.

Si chiama triodo un tubo costituito da tre elettrodi: il catodo, la griglia e l'anodo.

La griglia è interposta fra il catodo e l'anodo ed è polarizzata rispetto al catodo in modo tale da controllare il flusso di elettroni emesso dal catodo e diretto verso l'anodo.

A seconda della necessità di impiego, si fabbricano triodi caratterizzati da caratteristiche differentissime. Essi possono essere provvisti di catodo a riscaldamento diretto o indiretto.

Tensione di accensione del filamento: 5 V

Corrente di accensione del filamento: 14,1 A

Tensione anodica 3000 V

Corrente anodica: 400 m A

Potenza di uscita: 840 W, a 100 MHz

Catodo a riscaldamento diretto. Viene impiegato come amplificatore e come oscillatore nelle apparecchiature trasmittenti e industriali.

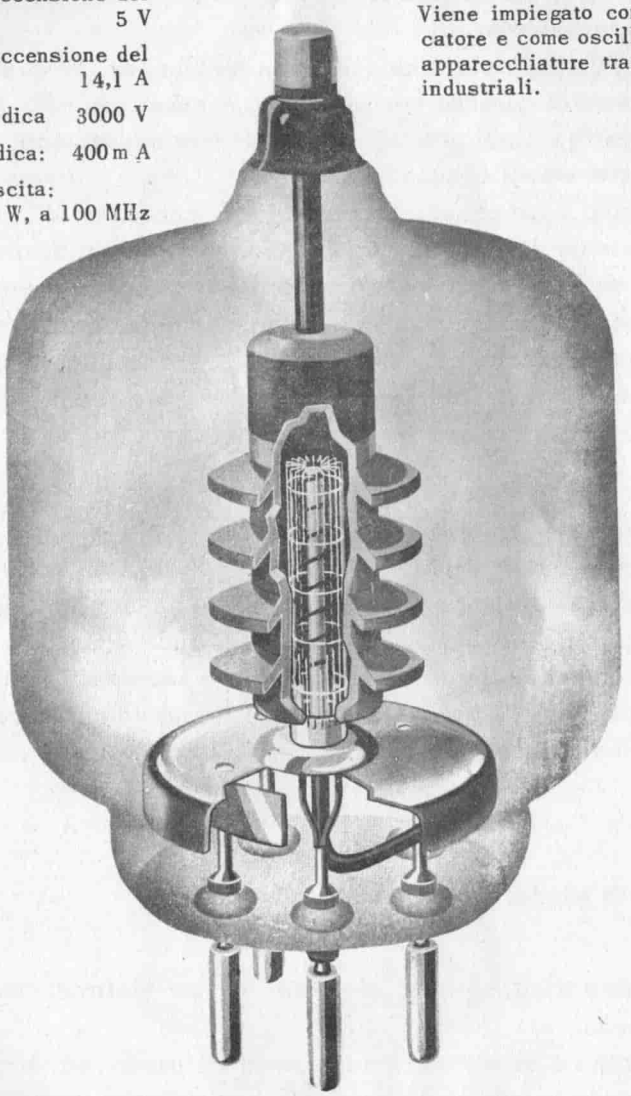


Fig. 124

Triodo di potenza tipo TB 3/750 di costruzione Philips.

I triodi possono essere suddivisi, a seconda del loro impiego, in triodi amplificatori di tensione e in triodi amplificatori di potenza.

I primi sono caratterizzati da una resistenza differenziale interna elevata, da elevato coefficiente di amplificazione e da bassa corrente anodica. I secondi, invece, sono caratterizzati da una resistenza differenziale interna e da un coefficiente di amplificazione basso e da una forte corrente anodica.

Le dimensioni geometriche di un triodo possono essere assai differenti. Dai piccoli triodi per microonde di un paio di centimetri di lunghezza, si può giungere a grandi triodi di trasmissione più alti di un metro e capaci di dissipare potenze assai elevate sì da richiedere un opportuno sistema di raffreddamento ad aria o a liquido.

La fig. 124 mostra un triodo di potenza con catodo a riscaldamento diretto tipo TB3/750 di costruzione Philips.

III.3 - Il tetrodo.

Si chiama tetrodo un tubo costituito da quattro elettrodi: il catodo, che può essere a riscaldamento diretto o indiretto, un anodo e due griglie interposte.

I tetrodi si dividono in due tipi fondamentali:

a) tetrodo a griglia di campo

b) tetrodo a griglia schermo

a) Il tetrodo a griglia di campo può essere riguardato come un triodo nel quale sia stata interposta una seconda griglia, detta griglia di campo o griglia ausiliaria, fra la griglia principale o esterna e il catodo.

I tetrodi a griglia di campo hanno trovato largo impiego verso il 1925, sotto il nome di tubi bigriglia, per la realizzazione di circuiti fun-

zionanti con piccoli valori di tensione anodica e per la realizzazione di radioricevitori a superreazione. La fig. 125 mostra lo schema di un amplificatore realizzato con un tetrodo a griglia di campo.

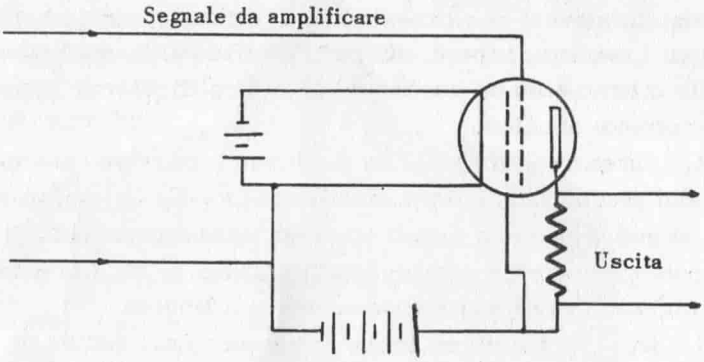


Fig. 125

b) Il tetrodo a griglia schermo può essere riguardato come derivato dal triodo, per l'aggiunta di una seconda griglia.

Questa seconda griglia però, trova posto fra la griglia di controllo e l'anodo, anziché fra il catodo e la griglia di controllo come avviene per il tetrodo a griglia di campo.

I vantaggi conseguiti con il tetrodo a griglia schermo derivano dal fatto che, in questo tubo, la capacità interelettrodica griglia-anodo è piccolissima, per cui è possibile realizzare stadi amplificatori non neutralizzati, senza che vi sia pericolo di accoppiamento reattivo parassita fra circuito anodico e circuito di griglia controllo. Inoltre, la conduttanza interna anodica è assai bassa (resistenza interna molto elevata), in quanto, venendo buona parte degli elettroni captata dalla griglia schermo (polarizzata positivamente), la corrente anodica risente assai poco del valore della tensione anodica, ma è quasi esclusivamente funzione delle tensioni delle griglie. Ciò determina un considerevole aumento nel valore del coefficiente di amplificazione. In questi tubi, la griglia di controllo e l'anodo fanno capo a collegamenti esterni mutuamente assai lontani e ciò è richiesto dal fatto che, in considerazione della lievissima capacità interelettrodica griglia di controllo-anodo,an-

che le lievi capacità fra detti collegamenti, qualora fossero contigui, determinerebbe percentualmente un apporto alla capacità complessiva non trascurabile.

I tubi a griglia schermo se utilizzati come amplificatori di potenza danno luogo a valori di distorsione elevati dovuta agli elettroni secondari emessi dall'anodo e raccolti dalla griglia schermo.

Allo scopo di eliminare questi effetti di distorsione sono stati costruiti i pentodi.

III.4 - Il pentodo.

Si chiama pentodo un tubo costituito da cinque elettrodi: il catodo, l'anodo e tre griglie.

Esso deriva direttamente dal tetrodo a griglia schermo, con l'aggiunta di una terza griglia fra la griglia schermo e l'anodo.

Questa terza griglia, chiamata griglia di soppressione o soppressore, nei moderni pentodi di potenza è stata sostituita da due placchette deflettrici direttamente collegate al catodo. Il tubo in questo caso prende il nome di *pentodo a fascio*.

Abbiamo visto che nel tetrodo la presenza della griglia schermo determina fenomeni di emissione secondaria con conseguente formazione di corrente anodica inversa. Essendo detta corrente inversa dovuta agli elettroni secondari che, sbalzati dall'anodo, raggiungono la griglia schermo, mantenuta ad un alto potenziale positivo, è evidente come la presenza della terza griglia fra anodo e schermo, mantenuta per lo più al medesimo potenziale di catodo, determini l'annullarsi dei dannosi effetti determinati dall'emissione secondaria, non potendo più gli elettroni secondari raggiungere la griglia schermo.

I pentodi utilizzati si suddividono in quattro classi principali:

a) Pentodi amplificatori di tensione

b) Pentodi a larga banda

c) Pentodi di potenza

d) Pentodi di potenza a fascio elettronico.

a) I pentodi amplificatori di tensione sono impiegati come amplificatori a radio frequenza nei radioricevitori, nei televisori, o come preamplificatori ad audiofrequenza.

Poiché detti tubi sono destinati a funzionare con tensioni variabili di griglia, di piccola ampiezza, il potenziale di interdizione che li caratterizza è molto modesto, per cui le varie griglie sono costituite da maglie molto serrate che portano ad un elevato coefficiente di amplificazione.

Alcuni tipi sono costituiti con coefficiente di amplificazione variabile. Questa proprietà viene utilizzata nei circuiti amplificatori funzionanti con *controllo automatico di amplificazione.*

I pentodi amplificatori di tensione dissipano poca energia sull'anodo, nella loro fabbricazione è necessario però rendere minime le capacità interelettrodiche, a causa dei piccoli valori di tensioni di segnale in gioco, sui quali, perdite anche modeste, possono determinare una diminuzione percentuale assai elevata.

Pertanto in questi tubi la connessione della griglia di controllo viene mantenuta lontana ed il più possibile isolata dalle connessioni degli altri elettrodi ciò allo scopo di rendere trascurabile la capacità fra il collegamento di griglia controllo e gli altri collegamenti.

b) Pentodi a larga banda. Affinché un amplificatore possa amplificare ugualmente valori di frequenza molto differenti fra loro, per esempio fra 20 Hz e 7 Mz come negli amplificatori video, è necessario che l'impedenza di carico sia di valore basso. Per ottenere però in queste condizioni un guadagno elevato è necessario un rapporto S/C (pendenza su capacità) elevato.

Un elevato valore S/C può essere ottenuto diminuendo la distanza fra il catodo e la griglia controllo, aumentando la lunghezza effettiva del catodo e riducendo il diametro del filo che costituisce la griglia. A questo scopo si utilizzano le griglie a quadro costruite con fili sottilissimi rigidamente collegati ad un telaio di molibdeno e completamente placcate in oro per eliminare eventuali fenomeni di emissione secondaria dovuti all'estrema vicinanza della griglia al catodo.

La fig. 126 mostra un pentodo S.Q. (Special Quality) tipo E 810F con griglia controllo e griglia schermo a telaio, con catodo a riscalda-

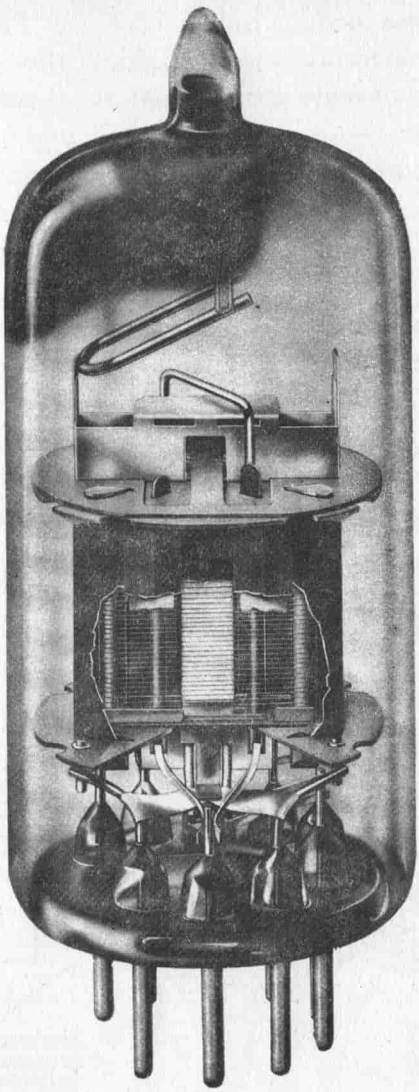


Fig. 126

mento indiretto, di costruzione Philips, utilizzato negli amplificatori a larga banda.

c) Pentodi di potenza. Servono per azionare un sistema utilizzatore, in cui sia in gioco una potenza elevata per es. trasduttori elettroacustici, dispositivi elettromeccanici, trasmettitori a R.F. ecc.

La tensione variabile da applicare alla griglia di controllo di questi tubi è relativamente elevata, per cui il potenziale di interdizione richiesto è elevato.

Scarsa importanza hanno in questo caso le capacità interelettrodiche esistenti fra le griglie controllo e gli altri elettrodi poiché la amplificazione in tensione e la resistenza interna di questi tubi è relativamente bassa.

Le griglie sono pertanto costituite da maglie non troppo strette.

d) Pentodi di potenza a fascio elettronico. Il pentodo di potenza a fascio elettronico è costituito fig. 127 da un catodo a forma appiattita cir-

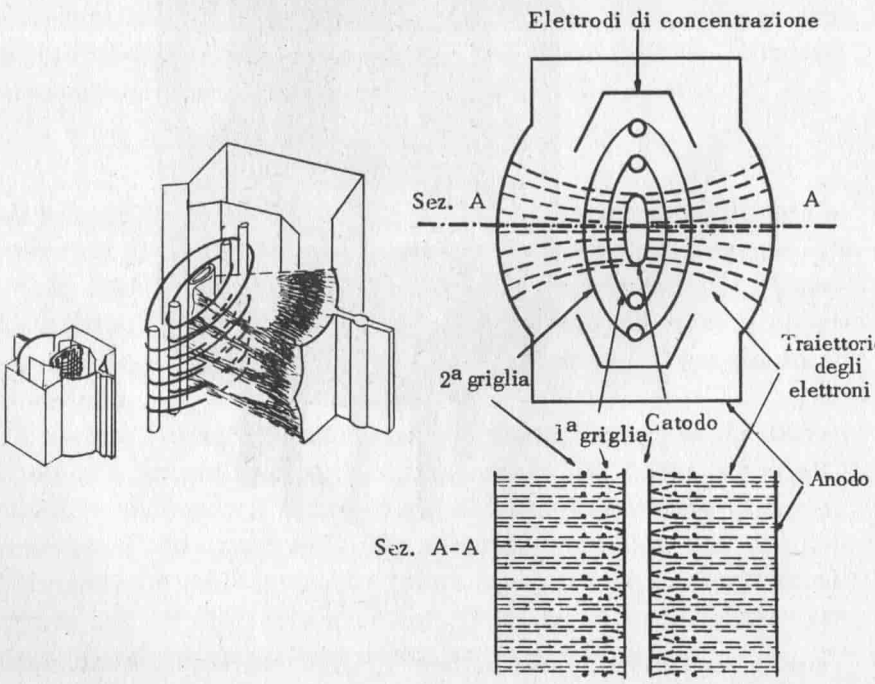


Fig. 127

condato dalla griglia di controllo e dalla griglia schermo, ambedue a forma ellittica, e da due placchette direttive.

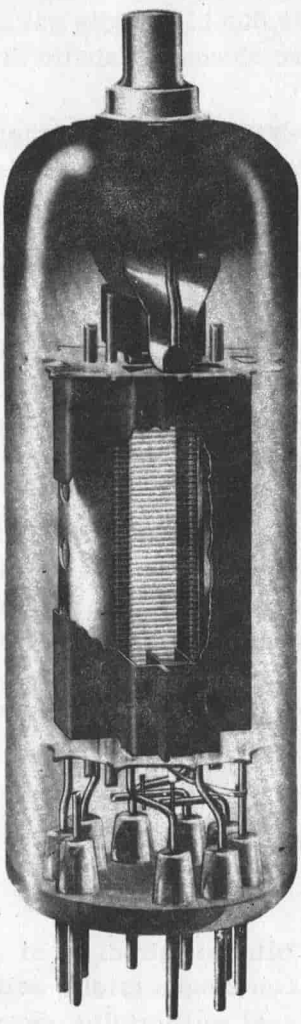


Fig. 128

Le due griglie sono costituite da uno stesso numero di spire, ugualmente disposte in modo che le spire corrispondenti risultino a due a due complanari.

Fra la griglia schermo e la placca vi è un quinto elettrodo costituito da due placchette collegato al catodo, mediante collegamento interno al tubo.

La presenza delle due placchette che costituiscono l'elettrodo direttivo, fa sì che il flusso assuma l'aspetto di due ventagli spaziali opposti.

Il valore della corrente di griglia schermo è assai basso, poiché, essendo la griglia schermo all'ombra della griglia controllo, per quanto concerne le traiettorie degli elettroni, pochissimi di essi potranno essere raccolti dalla griglia schermo.

Questo fatto determina un sensibile miglioramento del rendimento del tubo. Inoltre, fra anodo e griglia schermo, a causa della concentrazione in fasci degli elettroni, si avrà una elevata densità elettronica e, di conseguenza, una elevata carica spaziale. La distanza che intercorre tra l'anodo e la griglia schermo è relativamente grande, per cui il numero di elettroni costituenti questa carica spaziale è assai grande, conseguentemente, gli elettroni secondari eventualmente emessi dall'anodo vengono respinti prima che essi raggiungano la griglia schermo; si eliminano così gli svantaggi riscontrati nel tetrodo semplice.

La fig. 128 mostra un pentodo di potenza a fascio elettronico tipo PL 500 con anodo a scomparti, e con catodo a riscaldamento indiretto di costruzione Philips.

III.5 - Tubi con più di tre griglie.

Si costruiscono, oltre ai tetrodi ed ai pentodi, tubi con quattro griglie detti esodi, tubi con cinque griglie detti eptodi, tubi con sei griglie detti ottodi. Questi tubi multigriglia vengono principalmente usati negli stadi convertitori di frequenza dei radioricevitori.

Tubi multipli.

Si chiamano tubi multipli quelli che racchiudono in una stessa ampolla, soprattutto per economia di spazio e di peso, due o più sistemi elettrodici.

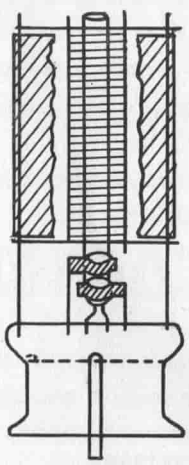


Fig. 129

Tra i tubi multipli più comunemente impiegati citiamo i doppi diodi, i doppi triodi i doppi diodi-triodi ecc.

La fig. 129 mostra la disposizione degli elettrodi di un doppio diodo-triodo con il catodo comune ai due sistemi di elettrodi.

*

CAPITOLO IV

TUBI PER FREQUENZE ELEVATE.

IV.1 - Introduzione.

Abbiamo visto, nei capitoli precedenti, le difficoltà che si incontrano nell'impiego dei tubi elettronici normali con l'aumentare della frequenza e della potenza di lavoro.

Infatti, il guadagno di un amplificatore diminuisce con l'aumentare della frequenza di lavoro, come pure cambiano le condizioni che limitano la potenza di uscita,

I fattori che principalmente contribuiscono a limitare l'uscita alle altissime frequenze sono: le reattanze dei collegamenti, le perdite nei circuiti e nel tubo, ed il tempo di transito degli elettroni.

Mentre alle frequenze basse il tubo ed i circuiti esterni hanno funzioni completamente distinte, al crescere della frequenza si deve tener conto degli elementi reattivi esistenti nell'interno del tubo.

Le capacità interelettrodiche e le induttanze dovute ai collegamenti degli elettrodi alterano le condizioni di risonanza; è necessario pertanto ridurre al minimo la lunghezza dei conduttori di connessione fra gli elettrodi ed i reofori per diminuire l'induttanza ed aumentare al massimo la distanza per ridurre le capacità interelettrodiche.

Capacità ed induttanze interne al tubo fanno sì che il tubo stesso si comporti come un sistema risonante per una certa frequenza; anche le perdite per *effetto pelle* e per isteresi dielettrica aumentano notevolmente con la frequenza; a queste da un certo limite in poi, si aggiunge una perdita per irradiazione da parte di quei terminali le cui dimensioni sono dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda.

Per ottenere frequenze di lavoro elevate bisogna pertanto costruire tubi aventi deboli capacità interelettrodiche, ma il limite massimo di frequenza di funzionamento è sempre legato al tempo di transito degli elettroni tra gli elettrodi.

Poiché il tempo di transito decresce quando cresce la tensione di placca e quando diminuiscono le distanze interelettrodiche, l'amplificazione, il rendimento e la frequenza limite di oscillazione possono essere aumentate aumentando la tensione di funzionamento o diminuendo le distanze interelettrodiche.

L'aumento della tensione di funzionamento dà luogo, come conseguenza, ad una maggiore dissipazione di placca mentre la diminuzione delle distanze interelettrodiche provoca un aumento delle capacità interelettrodiche. E' necessario pertanto, per mantenere basse queste capacità, ridurre contemporaneamente le distanze interelettrodiche e le superfici degli elettrodi. Ciò però porta inevitabilmente a ridurre il valore della massima dissipazione di placca ammissibile.

Una prima soluzione a questi problemi si è ottenuta costruendo tubi aventi elettrodi di piccole dimensioni i cui reofori, passanti nel vetro, escono radialmente in modo da mantenere basse le capacità parassite fra essi.

Prestazioni più elevate si sono ottenute con la costruzione dei tubi a dischi saldati, il cui principio di funzionamento non è fondamentalmente diverso da quello dei triodi normali.

La vera soluzione a questi problemi si è però ottenuta utilizzando l'effetto dovuto al tempo di transito degli elettroni in modo da realizzare dei tubi a modulazione di velocità come i Klystron i tubi ad onde progressive ed i magnetron.

IV.2 - Triodi per altissime frequenze.

Le considerazioni svolte nel paragrafo precedente consentono di riferire il funzionamento di un tubo, adatto per frequenze molto elevate, ad aspetti fisici che per i tubi normali adatti per frequenze comprese fra 100 ÷ 200 Mz, non è indispensabile considerare.

Innanzitutto conviene rilevare che i tubi operanti a frequenze molto elevate hanno strutture diverse da quelle proprie dei tubi normali. Ciò allo scopo di ridurre al minimo le cause che limitano il funzionamento dei triodi in questo campo di frequenza.

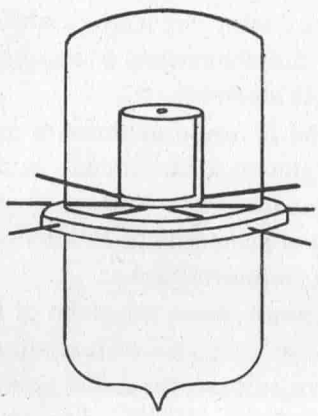


Fig. 130

Fra i primi tipi di triodi adatti per operare a frequenze molto elevate ricordiamo: i tubi a ghianda tipo 955 fig. 130 costruite fin dal 1937 e capaci di fornire una potenza di qualche decimo di watt a 500 Mz; i tubi noval tipo EC81, 6AF4, capaci di operare fino a frequenze dell'ordine di 1000 Mz; i tubi a dischi fig. 131, in cui gli elettrodi sono piani affacciati a distanza brevissima e provvisti di reofori anulari di minima induttanza e resistenza costruiti in modo da poter essere incorporati in risuonatori o linee coassiali, in modo da ridurre al minimo le perdire dovute ad irradiazione e ad onde stazionarie.

Gli elettrodi del tubo sono, in questo caso, un prolungamento della linea stessa che costituisce il circuito su cui il tubo lavora. I tubi costruiti secondo questa tecnica possono raggiungere frequenze dell'ordine di 4000 Mz.

I tubi ceramici costruiti dalla General Electric rappresentano una novità nel campo dei triodi operanti a frequenze elevate fino a circa 4000 Mz.

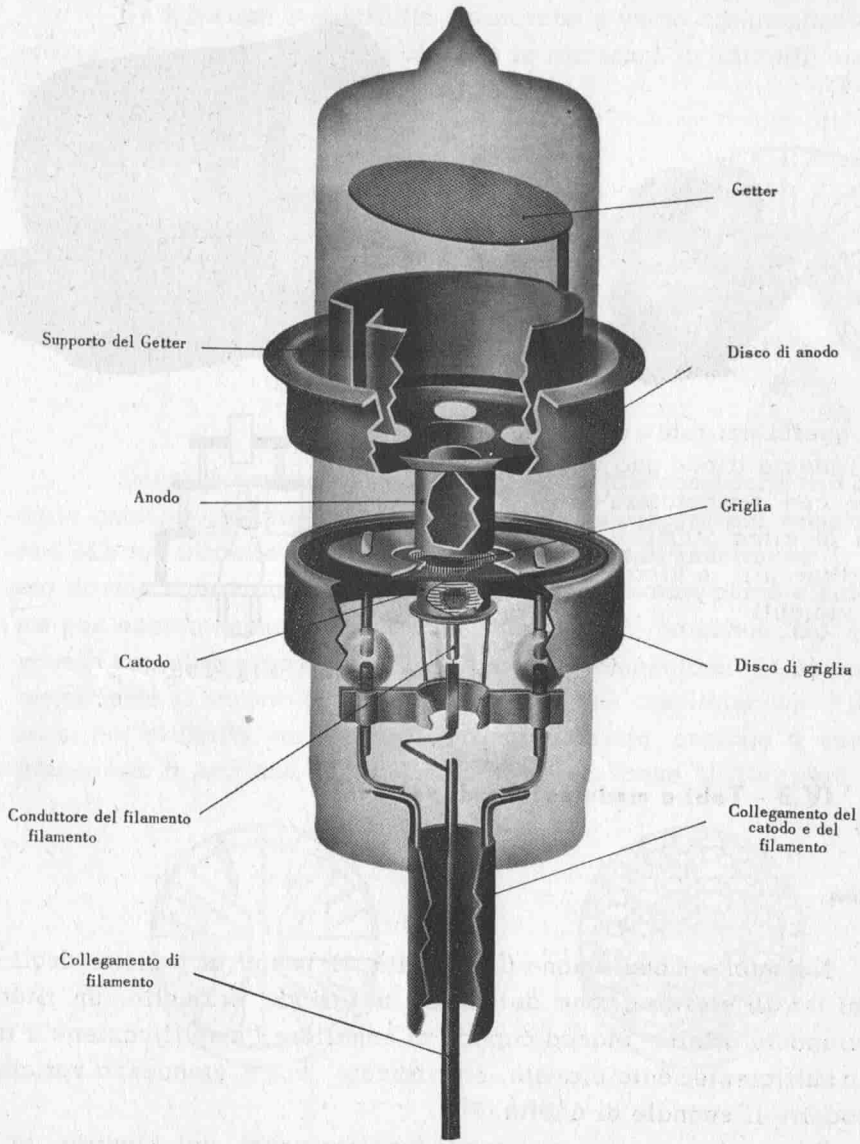
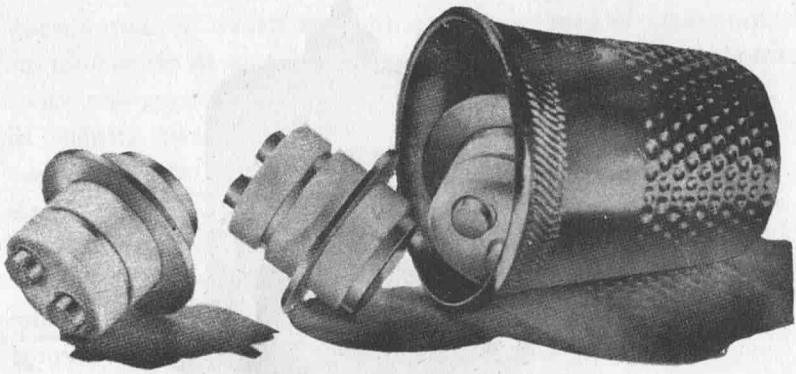


Fig. 131 - Triodo a dischi tipo EC 55 di costruzione Philips.

In questi tubi il vetro è stato completamente sostituito dalla ceramica a base di titanio. Di piccole dimensioni fig. 131 e di struttura si-

Fig. 132



mile a quella dei tubi a dischi fig. 133 questo triodo può funzionare con temperatura ambiente di circa 500° C e può sopportare urti e vibrazioni molto violenti.

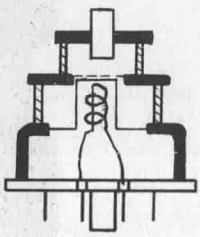


Fig. 133

IV.3 - Tubi a modulazione di velocità.

Klystron.

Nei tubi a modulazione di velocità il tempo di transito degli elettroni fra gli elettrodi, che determina nel triodo ordinario, un ritardo nella risposta griglia - placca capace di annullare l'amplificazione a frequenza sufficientemente elevata, è utilizzato come grandezza variabile per produrre il segnale di uscita.

Su questo principio si basa il funzionamento del klystron, si ha così la possibilità di convertire una corrente elettronica stazionaria in

una corrente elettronica avente una componente oscillante a RF, per mezzo di un periodico addensamento di elettroni, ottenuto mediante una periodica variazione di velocità degli stessi.

Un Klystron è costituito da un tubo a vuoto comprendente due o più risonatori cavi, cui sono affidate le mansioni di circuiti oscillatori di entrata e di uscita.

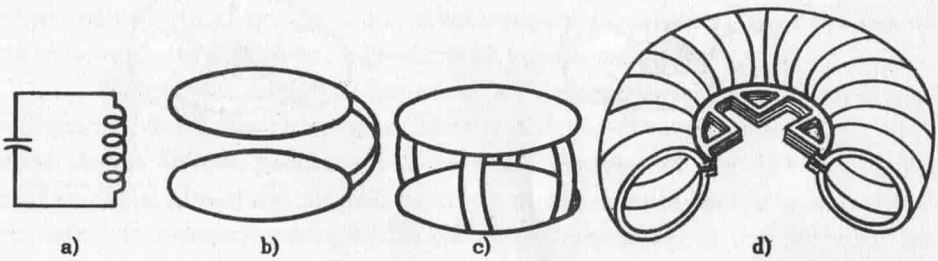


Fig. 134

Questi risonatori si possono considerare come derivati da un circuito oscillatorio ordinario fig. 134a. Nella sua forma più semplice figura 134b un circuito oscillatorio è costituito dall'induttanza L composta da una sola spira e dal condensatore ad armature piane e parallele C ma può essere anche costituito da più spire in parallelo fig. 134c, disposte con simmetria assiale, attorno al condensatore. Aumentando ulteriormente il numero di spire in parallelo che costituiscono l'induttanza si ha, al limite, un sistema continuo a cavità, analogo a quello rappresentato in sezione in fig. 134d. In questo caso limite, però, per ne-

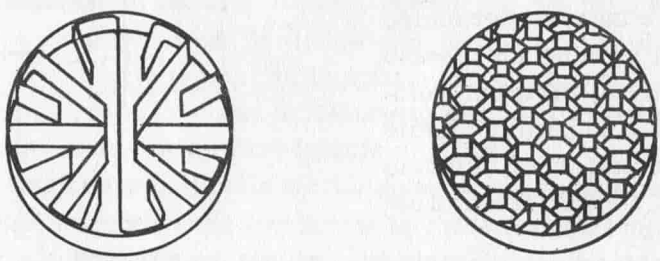


Fig. 135

cessità inerenti al funzionamento del tubo, come vedremo più avanti, bisogna che le armature parallele del condensatore siano discontinue. Esse assumono allora, una particolare struttura reticolare come in fig.135.

Se un campo elettrico oscillante agisce attraverso le armature del condensatore, come mostrano le figg. 136 a) e b), nell'interno della cavità che, in base a quanto abbiamo detto costituisce una spira continua, si genera un campo magnetico.

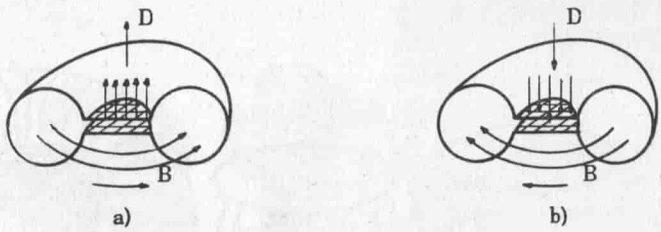


Fig. 136

Un circuito oscillante di questo tipo, data la bassissima resistenza della bobina, è caratterizzato da un fattore di merito Q assai alto.

Oltre ad uno o più risonatori un klystron è costituito da un cannone elettronico, e da un anodo o collettore figura 137. Il riscaldatore, il catodo, l'elettrodo concentratore negativo, e l'elettrodo acceleratore positivo, costituiscoscono il cannone elettronico capace di fornire un fascio concentrato di elettroni velocissimi. Le superfici forate dei risuonatori che il fascio attraversa, sono polarizzate positivamente.

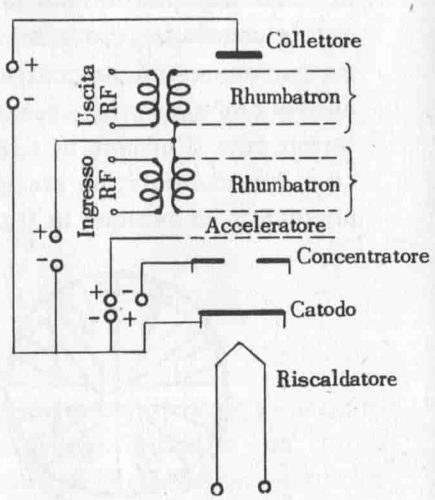


Fig. 137

Supponiamo, ora, che il primo risuonatore, addensatore, sia già sede di oscillazioni. Di conseguenza, nella sezione capacitiva dell'addensatore, si stabilisce un campo elettrico a RF, con direzione parallela alla traiettoria degli elettroni fig. 136.

Gli elettroni che giungono all'apertura del risuonatore, nel semiperiodo in cui il campo elettronico è di segno negativo, vengono decelerati e la decelerazione è tanto più energica, quanto più alta è l'intensità del campo, e proseguono oltre, con velocità costante, inferiore al valore medio della velocità della corrente elettronica.

Gli elettroni che giungono, invece, all'apertura suddetta nel semiperiodo in cui il campo è positivo, vengono accelerati e proseguono oltre con velocità costante, superiore al valore medio.

Affinché il campo elettrico a RF possa modulare efficientemenla velocità degli elettroni appartenenti alla corrente elettronica, gli elettroni stessi devono percorrere lo spazio compreso tra le due strutture e griglia del risuonatore, in una frazione di tempo inferiore a mezzo periodo, anzi, in generale, anche alle maggiori frequenze, in una piccola frazione del periodo di oscillazione proprio dell' addensatore. Lo spazio di variazione, compreso fra i due risuonatori, è sede del solo flusso elettronico e libero da ogni campo.

La modulazione di velocità della corrente elettronica, introdotta dalla componente elettrica del campo oscillante a RF, stabilitosi nell'addensatore, fa si che gli elettroni più lenti, transitati dall'apertura di entrata, durante il semiperiodo in cui il campo elettrico era di segno negativo, siano raggiunti e quindi superati, in determinate zone dello spazio di variazione, dagli elettroni più veloci, transitati dalla stessa apertura nel semiperiodo seguente. Ciò porta ad un'alterazione della distribuzione spaziale della corrente elettronica, con formazione di addensamenti, modulazione di densità, i quali, per quanto del tutto momentanei, e destinati a dissolversi per dar luogo alla formazione di altri, si ripresentano determinate regioni dello spazio di variazione a intervalli uguali a [illegible] dando luogo ad un fenomeno periodico di frequenza uguaguale a quella della funzione modulante a RF.

La trasformazione della modulazione di velocità in modulazione di densità può essere messa facilmente in evidenza riportando in funzione del tempo lo spazio percorso dai vari elettroni che emergono dall'addensatore a piccoli intervalli di tempo l'uno dall'altro fig. 138. Sull'asse dei tempi è riportato anche l'andamento della tensione sinusoidale applicata fra le due griglie dell'addensatore.

Gli elettroni che passano attraverso le griglie dell'addensatore, quando questa tensione è nulla, sono rappresentate da rette che hanno una pendenza corrispondente alla velocità originaria n_0 degli elettroni che è rimasta indisturbata al passaggio attraverso l'addensatore a questo punto del ciclo. A tutti gli altri elettroni corrispondono velocità e quindi pendenze maggiori o minori di quella dell'elettrone indisturbato. Precisamente quegli elettroni che possono attraversare l'addensatore quando la tensione alternativa è negativa, ossia quando essa si oppone al moto degli elettroni, saranno leggermente frenati e ad essi corrisponderanno pendenze minori di quelle corrispondenti agli elettroni indisturbati.

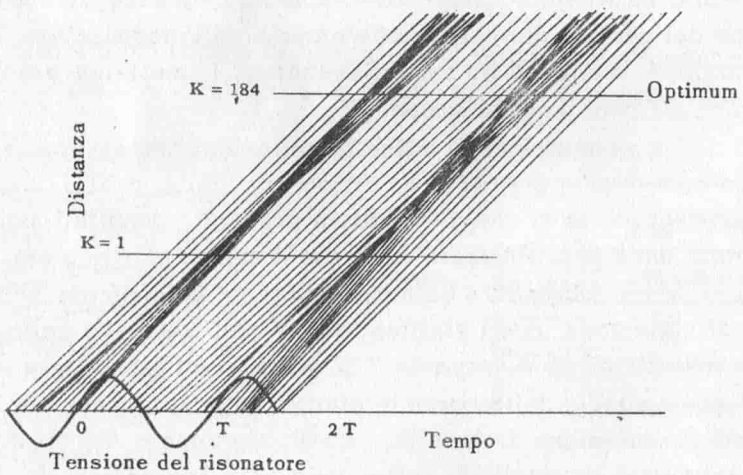


Fig. 138

L'opposto si verifica evidentemente per quegli elettroni che invece attraversano l' addensatore quando la tensione alternativa è positiva e favorisce il moto. Nel diagramma di linee che ne risulta, la densità delle linee lungo una qualunque retta orizzontale a distanza l dall'origine, corrisponde all'ampiezza della corrente che attraversa un piano ideale posto a distanza l dall'addensatore in funzione del tempo.

Risulta subito evidente che un addensamento di elettroni si forma attorno a quell'elettrone che passa attraverso il risuonatore nell'istante in cui la tensione alternativa è nulla e sta andando dai valori negativi ai positivi.

Man mano che ci si sposta lungo il fascetto di elettroni, si trova che il raggruppamento è dapprima molto stretto ed ha associato con se un forte valore della corrente; più oltre il raggruppamento diventa più largo e i valori massimi della corrente si trovano ai suoi bordi.

L'andamento della densità degli elettroni in funzione del tempo, per vari valori della distanza dell'addensatore è riportato in fig. 139.

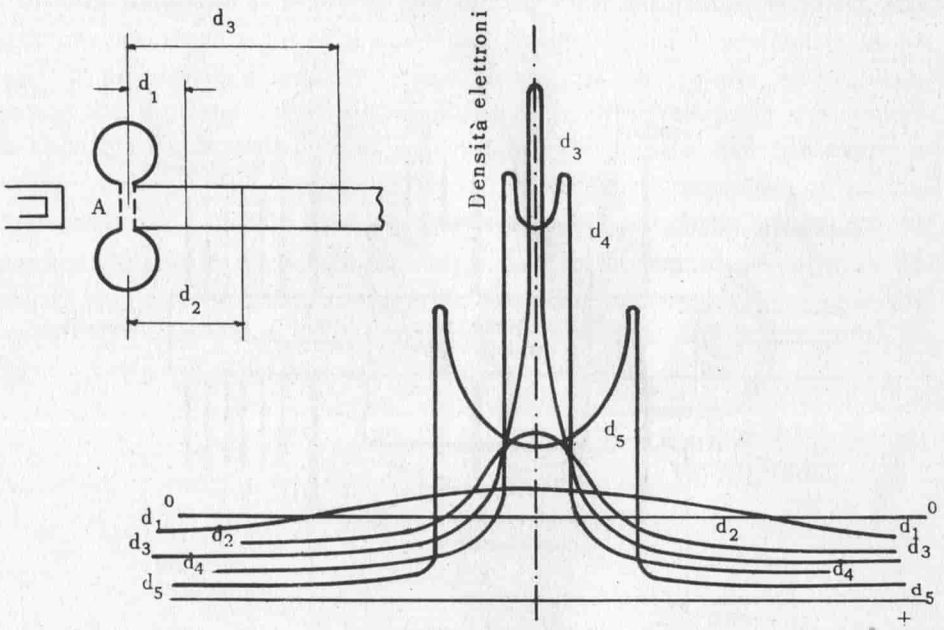


Fig. 139

Se ad una distanza a cui il raggruppamento sia sufficientemente pronunciato, si dispone un altro risuonatore, detto ricettore, accordato sulla stessa frequenza del primo, il flusso di elettroni variabili attraverso la coppia di griglie, costituenti la capacità del secondo circuito risonante, potrà mantenere una corrente nel secondo circuito oscillante, e fornire potenza oscillatoria all'esterno. Il collettore raccoglie infine con continuità gli elettroni.

Se il flusso di elettroni emesso dal catodo è costante, e se il tempo di transito fra le griglie del primo risuonatore è trascurabile, il primo

circuito risonante non richiede potenza per effettuare il raggruppamento degli elettroni; infatti esso dovrà accelerare in ogni mezzo periodo una quantità di elettroni esattamente uguale a quella ritardata nel restante mezzo periodo e le accelerazioni e decelerazioni saranno esattamente uguali a due a due. Se il tempo di transito fra le griglie non è nullo, ma ha un piccolo valore finito, si trova che l'addensatore consuma una modesta potenza, tanto maggiore quanto più grande è il tempo di transito.

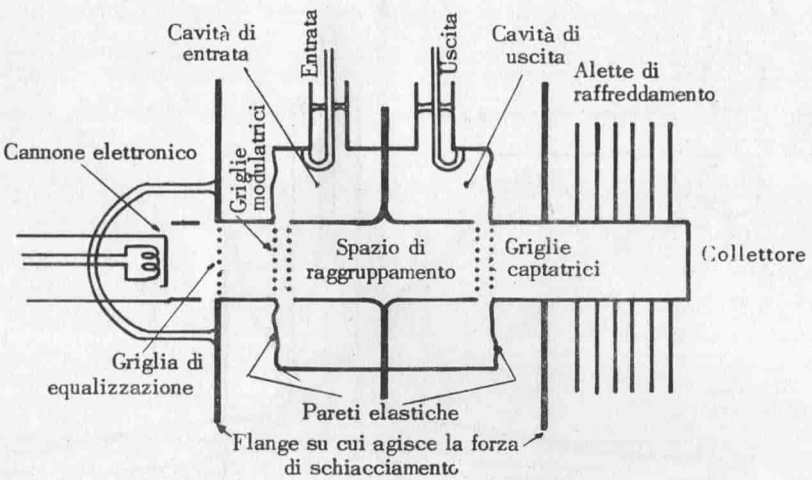


Fig. 140

Si può pertanto considerare l'addensatore rispetto all'accettare come un risuonatore avente le funzioni di una griglia di controllo nel senso di poter pilotare l'oscillazione dell'accettore senza richiedere, teoricamente, potenza dal circuito che lo alimenta. A questo scopo, evidentemente, entrambi i circuiti debbono essere accordati sulla stessa frequenza ed il tubo in questo modo è adatto per funzionare come amplificatore di tensione o di potenza a frequenza costante. Accoppiando l'addensatore al circuito dell'accettore stesso il tubo diviene un oscillatore.

I Klystron funzionanti sotto questo principio possono essere realizzati in varie forme, in particolare con cavità interne al tubo o con cavità applicate esternamente fig. 140.

Klystron reflex.

Il Klystron reflex è provvisto di un solo risuonatore. Esso pertanto può funzionare solo come oscillatore. Il tubo consiste di un catodo, di un elettrodo focalizzatore a potenziale di catodo, di un risuonatore a cavità che serve anche come anodo, di un repulsore a potenziale negativo rispetto al catodo e di una linea di uscita per prelevare energia dalla cavità. La fig. 141 mostra lo schema costruttivo di un Klystron reflex. In questo tubo gli elettroni, dopo un primo passaggio attraverso la cavità risonante, incontrano un forte campo deceleratore dovuto al repulsore a potenziale negativo rispetto al catodo: essi sono rallentati fino a fermarsi, indi accelerati in senso contrario e respinti attraverso le griglie della cavità risuonante verso il catodo.

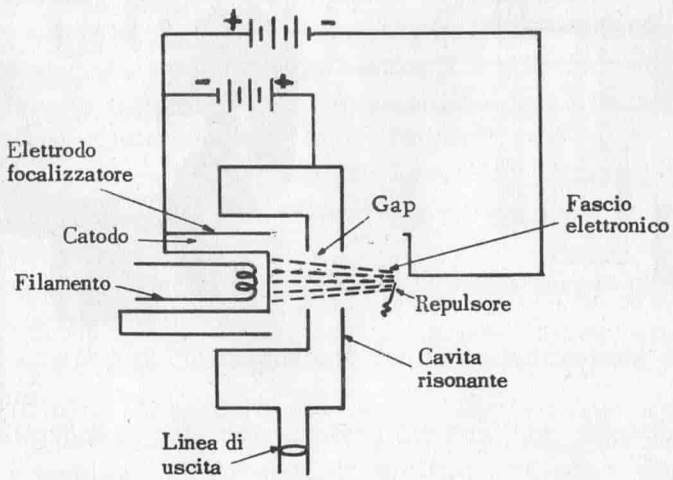


Fig. 141

Durante il primo passaggio attraverso le griglie della cavità risuonante gli elettroni vengono modulati in velocità dal

campo alternativo esistente nel risuonatore, nel percorsc entro il campo del repulsore la modulazione di velocità si trasforma in modulazione di densità e gli elettroni rientrano nelle griglie del risuonatore addensati a gruppi.

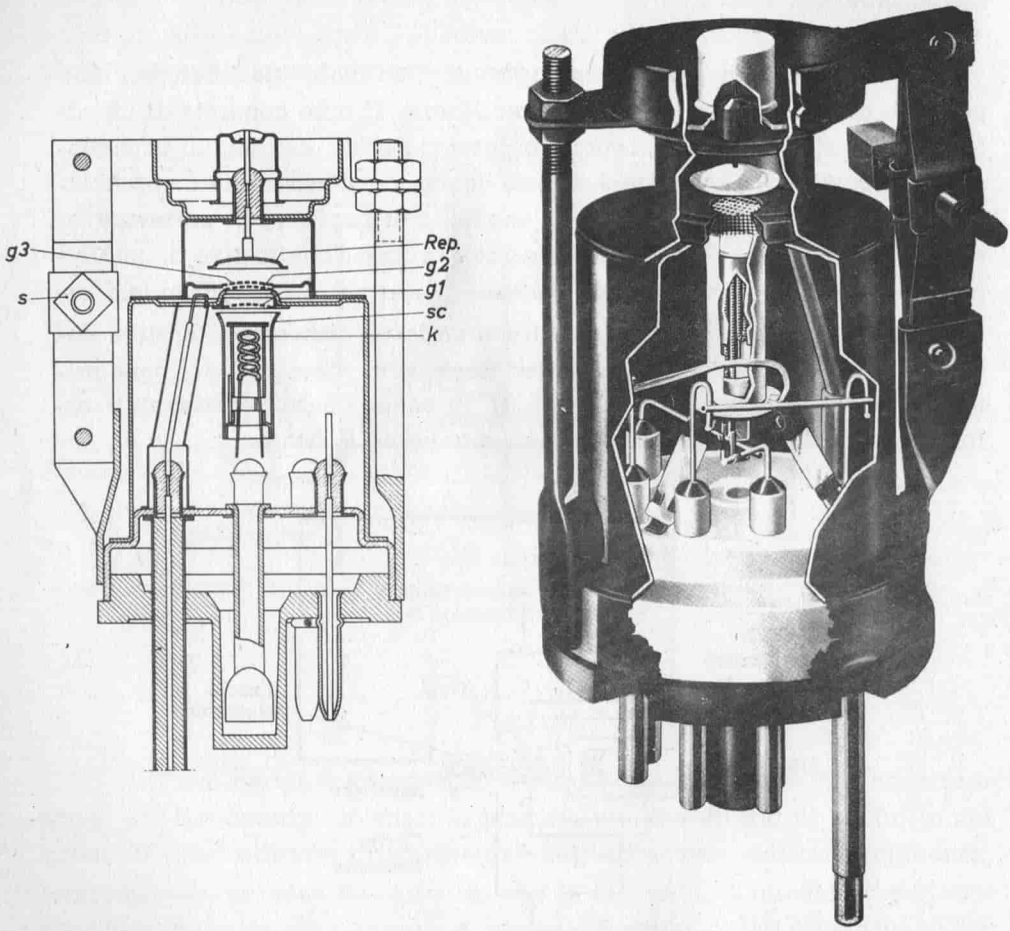


Fig. 142

La frequenza di lavoro di un Klystron reflex dipende essenzialmente dalle dimensioni della cavità; variando queste dimensioni, ad e-

sempio spostando la parte flessibile della cavità, si può spostare la frequenza di lavoro. A tale scopo la parete flessibile della cavità è costituita da un diaframma ondulato la cui distanza dalla base del tubo può essere modificata comprimendo più o meno, a mezzo di vite di regolazione, una coppia di molle a balestra, a curvatura opposta, che collegano la testa del tubo, che porta il contatto del repulsore, con la base.

La frequenza di lavoro può essere anche variata elettronicamente variando la tensione applicata al repulsore.

Questi tubi sono costruiti per frequenze di lavoro comprese fra 1000 Mz e 75.000 Mz. Possono però erogare potenze di solo qualche centesimo di milliwatt.

La fig. 142 mostra la sezione di Klystron reflex tipo 2K25 di costruzione Philips a sintonia meccanica adatto per funzionare entro una banda di frequenze compresa fra 8500 e 9660 Mz.

Il magnetron.

Il magnetron è un particolare diodo a flusso elettronico controllato con la peculiarità che il controllo, anziché essere effettuato, come nei comuni triodi, mediante un campo elettrico, è affidato ad un campo magnetico generato mediante un solenoide od un magnete permanente posto esternamente al tubo e coassiale col catodo.

Esso è costituito da un elettrodo massiccio cilindrico, l'anodo, provvisto di uno spazio centrale entro il quale trova posto il catodo montato assialmente come in fig. 143.

Nel corpo dell'anodo sono ricavate un certo numero di cavità parallele all'asse del magnetron.

Ogni cavità è in comunicazione con lo spazio centrale attraverso delle fenditure.

Se all'anodo si applica un potenziale positivo, rispetto al catodo e questo è regolarmente acceso, gli elettroni da esso emessi raggiungono l'anodo, con percorso rettilineo, come è indicato dal tratto *a* in fig. 144.

Se applichiamo ora un campo magnetico, le cui linee di flusso siano parallele all'asse del tubo, ciò che si ottiene, ad esempio, avvol-

gendo attorno a questo un certo numero di spire di filo percorso da una corrente elettrica, o mediante un magnete permanente, le traiettorie de-

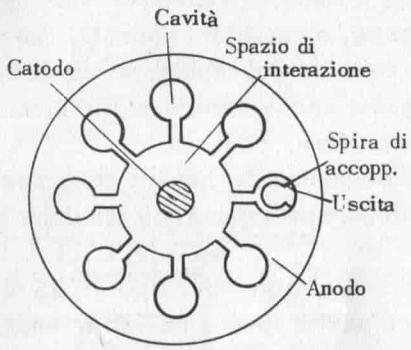


Fig. 143

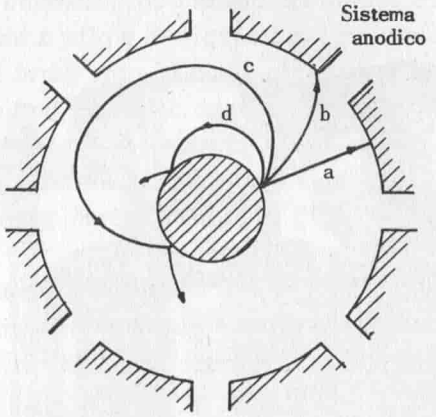


Fig. 144

gli elettroni si incurvano, per effetto di questo campo e, ogni elettrone, percorre l'intervallo catodo-anodo, descrivendo approssimativamente un arco di circonferenza, fig. 144 tratto b. Aumentando gradualmente il valore del campo magnetico, le traiettorie si incurvano sempre più, finché in corrispondenza di un valore del campo, detto valore critico, le traiettorie degli elettroni risultano tangenti all'anodo, fig. 144 tratto c e d, e gli elettroni ricadono sul filamento determinando la cessazione della corrente anodica.

Durante il loro tragitto essi passano nelle vicinanze delle fenditure che congiungono le cavità con la parte centrale del magnetron provocando così delle perturbazioni nelle cavità corrispondenti. Infatti ogni cavità dell'anodo è in effetti un circuito risonante ove la superficie della cavità costituisce l'elemento induttivo e le superfici della fenditura corrispondente l'elemento capacitivo.

Le dimensioni delle cavità e delle fenditure determinano pertanto la frequenza di oscillazione del magnetron. A tale scopo tutte le cavità comprese nel magnetron devono avere tutte la stessa frequenza di risonanza.

Una piccola variazione di campo elettrico nelle vicinanze delle fenditure è sufficiente per generare le oscillazioni elettriche nelle cavità. Queste oscillazioni ad altissima frequenza danno luogo ad una corrente a radiofrequenza che scorre essenzialmente lungo la superficie delle cavità e delle fenditure.Durante ogni ciclo a R F in ogni cavita risonante, la corrente circola da un bordo di una fenditura, attraverso la superficie interna della cavità, al bordo opposto della fenditura, indi si inverte e ritorna di nuovo al bordo di partenza. Questo andirivieni continua con una frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza della cavità risonante. Il potenziale su ciascun bordo della fenditura oscilla,quindi, rispetto ad un valore medio rappresentato dal potenziale anodico applicato. Si vengono così a formare campi elettrici oscillanti nelle regioni delle fenditure fig. 145. Consideriamo ora gli effetti che questi campi e-

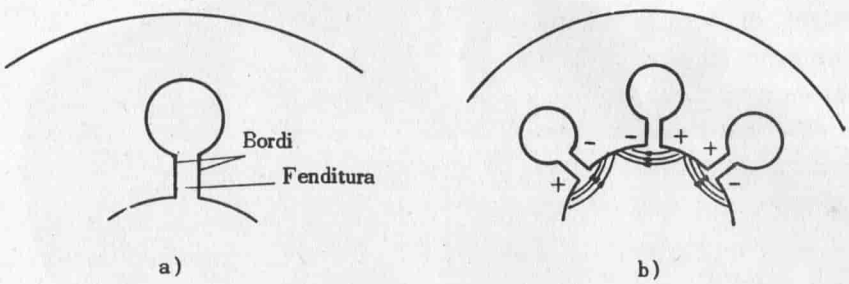


Fig. 145

lettrici oscillanti hanno sugli elettroni provenienti dal catodo e sui quali già agiscono sia il campo elettrico dovuto alla tensione anodica, che il campo magnetico, i quali, come abbiamo già detto,fanno percorrere agli elettroni traiettorie lungo le quali essi passano davanti ad una o più fenditure.

Se accade che un particolare elettrone entra nel campo oscillante nell'istante in cui questo campo risulta in opposizione alla forza prodotdal campo magnetico, l'elettrone rallenterà la sua corsa perdendo una certa quantità di energia cinetica. L'energia perduta dall' elettrone viene ceduta al campo oscillante, e contribuisce così a mantenere le oscillazioni. In pratica, le cose sono disposte in modo che ogni elettrone cede in questo modo la sua energia a molte cavità risuonanti prima di essere

attratto dall' anodo. Viceversa se accade che un elettrone entra nel campo oscillante nell'istante in cui questo campo risulta in fase con la forza prodotta dal campo magnetico, l'elettrone verrà accelerato ed assorbirà una certa quantità di energia dal campo oscillante; ciò tende a smorzare le oscillazioni.

L'elettrone *sfavorevole*, come normalmente viene chiamato, viene ulteriormente deviato dal campo magnetico e ritorna velocemente verso il catodo con una energia sufficiente a far emettere dal catodo un gran numero di elettroni secondari. Questi elettroni secondari, a loro volta, possono raggiungere le vicinanze dell'anodo in istanti di oscillazioni del campo favorevoli o sfavorevoli. Poiché l'energia fornita al sistema oscillante dagli elettroni favorevoli è maggiore di quella sottratta, allo stesso sistema dagli elettroni sfavorevoli: si avrà il mantenimento delle oscillazioni con possibilità di fornire al circuito esterno una considerevole potenza oscillante.

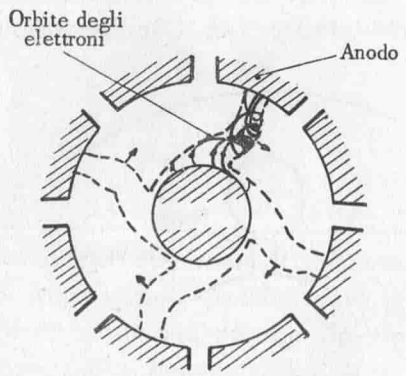


Fig. 146

Gli elettroni favorevoli in un magnetron sono per la maggior parte guidati verso una zona ove il trasferimento di energia avviene nel modo più favorevole possibile. In conseguenza di ciò nei magnetron esiste anche un'azione di focalizzazione che tende a tenere gli elettroni favorevoli in passo con il campo oscillante. Quest'azione di focalizzazione è equivalente ad una modulazione di velocità che raggruppa le orbite degli elettroni favorevoli in fasci a foggia di razze di ruota che ruotano con velocità angolare costante conferendo così continuamente energia alle oscillazioni fino al momento in cui questi elettroni raggiungono l'anodo, come mostra la fig. 146.

L'energia a R F viene prelevata dal magnetron per mezzo di fenditure o di una spira di accoppiamento posta in una delle cavità e collegata al circuito coassiale di uscita dalla struttura.

Il magnetron può essere considerato come un convertitore nel quale l'energia fornita in corrente continua viene convertita in energia a radiofrequenza, con frequenze di lavoro comprese fra 1.000 e 25.000 Mz con un rendimento compreso tra il 40 e 60%. Il calore dissipato all'anodo viene eliminato con sistemi di raffreddamento ad aria forzata o ad acqua.

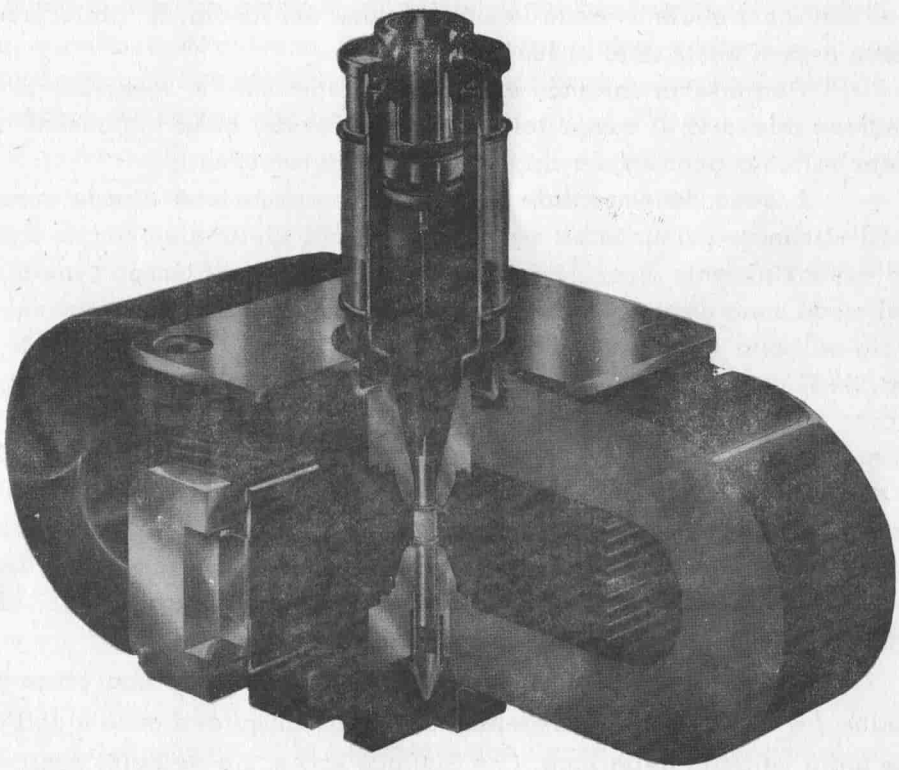


Fig.147

La fig. 147 mostra in sezione un magnetron con raffreddamento ad aria forzata tipo 4 J 50 di costruzione Philips adatto per fornire impulsi a frequenza fissa compresi fra la banda di 9345 - 9405 MHz.

Tubi ad onde progressive.

Il Klystron e il magnetron sono di per se stessi vincolati all'intorno di una determinata frequenza ed inoltre il magnetron può funzionare soltanto come oscillatore.

La causa della ristrettezza della banda di funzionamento risiede essenzialmente nel fatto che, per avere un piccolo tempo di transito nel tratto nel quale avviene la modulazione del fascio, il tratto stesso deve essere assimilato in lunghezza.

Pertanto un comando efficace richiede che si generino in tale regione intensità di campo relativamente elevate, quali si possono ottenere soltanto ricorrendo a circuiti fortemente risuonanti.

L'idea fondamentale del tubo a propagazione d'onda consiste nell'eliminare i risuonatori agendo sul fascio elettronico con un elemento essenzialmente aperiodico. Poiché le intensità di campo generate in tal modo sono assai deboli, si può ottenere un'azione efficace sul fascio soltanto estendendo l'azione stessa su un tratto relativamente lungo. Se il campo elettrico fosse stazionario e si estendesse per un percorso dell'ordine di una lunghezza d'onda, si avrebbero nei diversi tratti azioni contrastanti a causa del tempo di transito. Di qui la necessità che il campo si propaghi seguendo gli elettroni nel loro movimento e quindi l'idea fondamentale di sfruttare l'interazione tra un'onda che si propaga in una guida e un fascio elettronico muoventesi entro di essa circa con la stessa velocità. Il principio vale tanto per la modulazione del fascio quanto per il prelevamento di potenza dal fascio stesso.

Nel passare all'attuazione pratica si incontra una prima difficoltà. La velocità di propagazione nelle comuni guide d'onda è dell'ordine della velocità della luce, C = 300.000 km/s. La velocità degli elettroni in un fascio elettronico è data da:

$$u = 5{,}93 \cdot 10^5 \sqrt{V_0}$$

indicando con V_0 la tensione acceleratrice e trascurando gli effetti relativistici. Con una tensione di 2500 V, che è già piuttosto alta per l'uso nel-

le radio apparecchiature, si ottiene una velocità di circa 30.000 km/sec e cioè soltanto c/10. Appare chiaro che anche aumentando la tensione entro limiti ragionevoli non è possibile portare questa velocità ad approssimare quella dell'onda. Occorre perciò trovare un tipo speciale di guida d'onda nel quale la velocità di propagazione lungo l'asse sia assai più bassa del solito. La prima soluzione adottata consiste nel dare alla guida la forma di un'elica cilindrica. Il calcolo esatto del comportamento è piuttosto complesso, ma si può avere un'idea elementare di ciò che avviene semplicemente ammettendo che l'onda si propaghi lungo l'elica ancora con la velocità della luce.

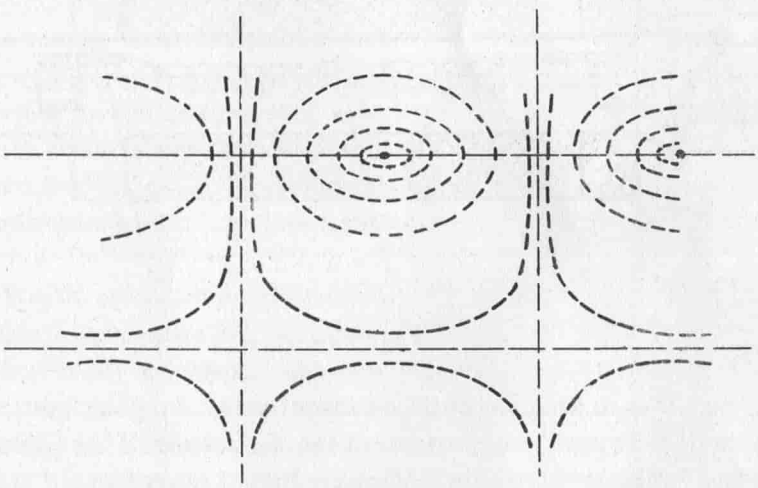


Fig. 148

La componente della velocità lungo l'asse risulta ridotta nel rapporto tra il passo dell'elica e la circonferenza. Per tale via non è difficile scendere al valore c/10. Il campo elettrico che si ottiene lungo l'asse non è soltanto assiale, come si vorrebbe, ma le componenti trasversali sono piccole e possono essere in prima approssimazione trascurate.

La fig. 148 mostra schematizzata la configurazione del campo.

La fig. 149 mostra la costituzione di un tubo a propagazione di onda. Il fascio (2) è generato da un cannone ellettronico (1).

Il segnale da amplificare è convogliato da una guida d'onda (3); attraverso l'antenna (4) collegata all'inizio dell'elica (5) esso viene trasferito sull'elica stessa, lungo la quale si propaga reagendo col fascio elettronico. Alla fine, amplificato da questa interazione, il segnale viene trasferito mediante, un'altra antenna (6), sulla guida d'onda di uscita (7).

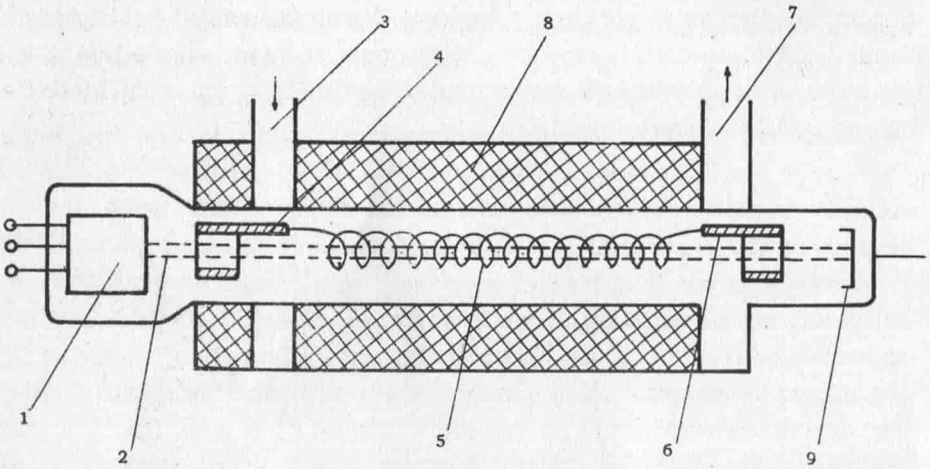


Fig. 149

L'aumento di energia dell'onda è ottenuto a spese dell'energia cinetica degli elettroni che pertanto vengono rallentati ed alla fine raccolti da un apposito elettrodo collettore (9). Lungo tutto il tubo è avvolta una bobina (8) percorsa da corrente continua in modo da generare un campo magnetico assiale. Tale campo ha il compito di mantenere compatto il fascio elettronico lungo tutto il percorso. Pertanto lo scostamento massimo dell'asse viene contenuto entro un determinato limite, non solo, ma dopo un certo tratto l'elettrone, percorso un intero cerchio, ritorna sull'asse stesso.

I tubi a propagazione d'onda sono dei tubi amplificatori comodamente utilizzabili entro una gamma di frequenze compresa tra 1000 e 15.000 MHz

Le potenze che si possono ottenere normalmente sono dell'ordine di qualche decina di watt. Si possono però raggiungere potenze di circa un kW realizzando l'elica con un tubo di rame raffreddato ad acqua.

Questi tubi non presentano una curva di risonanza appuntita, si prestano pertanto molto bene per amplificare una banda di segnali molto estesa: la sola limitazione della banda passante propria è dovuta agli accoppiamenti del tubo ai cavi coassiali che richiedono una cura particolare.

La realizzazione del tubo presenta delicati problemi tecnologici di meccanica e di vuotatura. La costruzione del cannone elettronico e dell'elica richiedono infatti un'alta precisione meccanica sia nella costruzione dei vari componenti, sia per assicurare una perfetta coassialità tra fascio elettronico ed elica. E' necessario inoltre un vuoto elevatissimo, dell'ordine di 10^{-9} mm di Hg.

La fig. 150 mostra un tubo a propagazione d'onda tipo 7537 di costruzione Philips impiegato come amplificatore a larga banda per frequenze da 4400 a 5000 MHz.

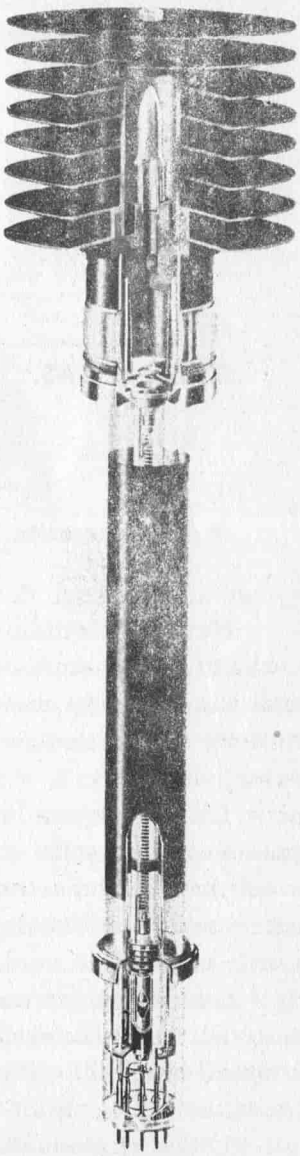


Fig. 150

*

CAPITOLO V

TUBI A GAS.

V.1 - Generalità.

Nei tubi elettronici a vuoto, come abbiamo visto in precedenza si ha cura di eliminare dall' interno dell'ampolla ogni traccia di gas residuo. La presenza accidentale di questi gas infatti modifica le caratteristiche di funzionamento del tubo stesso tanto da renderlo inutilizzabile.

L'introduzione in un tubo a vuoto di un gas monoatomico o di un vapore metallico sotto una pressione variabile tra 10^{-1} e 10^{-3} mm di Hg provoca la distruzione della carica spaziale che si forma nelle vicinanze del catodo. Infatti alcuni atomi di gas, sotto l'influenza del bombardamento elettronico perdono degli elettroni, questi si dirigono verso l'anodo e contribuiscono così all'aumento della corrente anodica totale.

Gli ioni positivi invece si dirigono verso il catodo, ciò provoca la distruzione della carica spaziale permettendo, come conseguenza, una emissione elettronica più elevata da parte del catodo.

L'introduzione di un gas in un tubo elettronico permette di ottenere delle caratteristiche di funzionamento interessanti variabili in funzione della corrente e della tensione ad esso applicata.

Realizziamo un circuito come in fig. 151 costituito da un'ampolla contenente un gas a bassa pressione munito di due elettrodi, da un voltmetro, da un amperometro, da una resistenza R di protezione, da un generatore G, e da un potenziometro P.

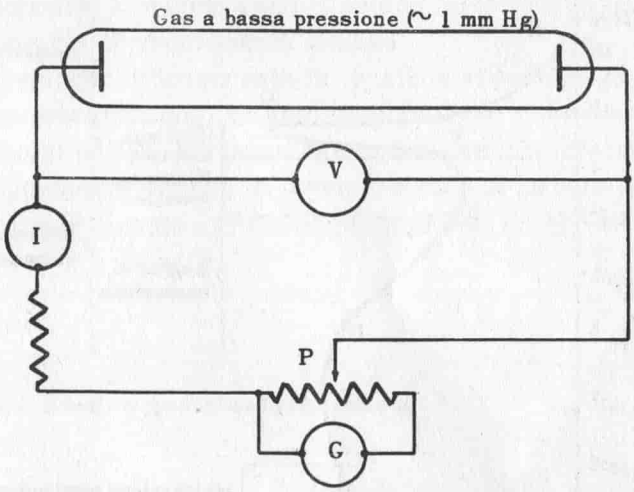


Fig. 151

Partendo da un valore di tensione V = 0 tracciamo la curva caratteristica I = f(V) mostrata in fig. 152.

Nel tratto di curva 0A la corrente, di valore molto debole, cresce in funzione della tensione applicata dapprima rapidamente e poi più lentamente fino a raggiungere la saturazione nel tratto AB.

La conducibilità del gas nel tratto 0AB è generalmente dovuta ad agenti esterni, come radiazioni ultraviolette, raggi cosmici, raggi X ecc,, che provocano la ionizzazione di alcuni atomi di gas. Essa pertanto si annulla se si sopprimono gli agenti ionizzanti esterni. La zona definita dal tratto di caratteristica 0AB viene definita zona di ionizzazione non autonoma.

Aumentando la tensione applicata la corrente riprende ad aumentare con rapidità; ciò è dovuto al fatto che alcuni elettroni acquistano energia sufficiente per ionizzare gli atomi neutri che essi incontrano lungo il percorso verso l'anodo. L'aumento di corrente elettronica risulta pertanto dovuta alla sommatoria di due agenti, uno esterno e l'altro

interno funzione della tensione applicata. Questa zona definita dal tratto di caratteristica B C prende il nome di zona di ionizzazione semi-autonoma o controllata. Essa inoltre è caratterizzata da una debole emissione di radiazioni luminose.

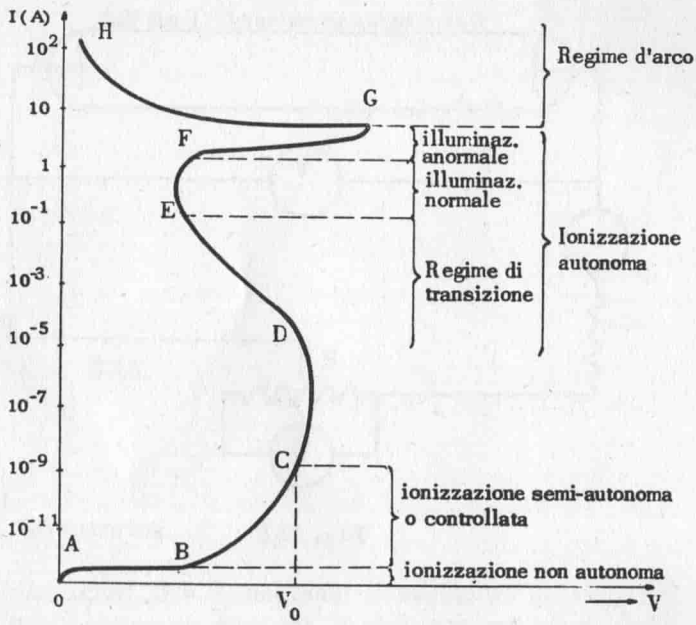


Fig. 152

Questa zona viene utilizzata nel funzionamento delle cellule fotoelettriche a gas e nei contatori a Geiger-Muller.

Appena la tensione applicata raggiunge il valore V_0, corrispondente al punto C, la corrente cresce bruscamente mentre la caduta di tensione nel tubo si mantiene quasi costante. Ciò si spiega pensando che al crescere della corrente diminuisce la resistenza interna al tubo, a causa dell'aumentata ionizzazione, facendo così in modo da mantenere quasi costante la caduta di tensione interna.

Lo stato di equilibrio si raggiunge nel punto E ad un valore di caduta di tensione V_a e ad un valore di corrente I limitato dalla resistenza R del circuito.

Il tratto E F a resistenza interna positiva, costituisce la zona luminosa di funzionamento stabile. In questa zona funzionano i tubi lu-

minescenti per insegne luminose, per illuminazione ed i tubi stabilizzatori di tensione. Infatti nel tratto EF piccole variazioni di tensione provocano grandi variazioni di corrente. Aumentando la tensione si percorre il tratto di curva F G che rappresenta la zona luminosa di funzionamento anormale. In questa zona il catodo si riscalda e si distrugge sotto l'azione del bombardamento ionico.

Aumentando ulteriormente la tensione si percorre il tratto di curve GH con funzionamento ad arco innescato. In questa zona il catodo emette elettroni per effetto termoionico. La corrente cresce rapidamente fino a raggiungere densità di diverse decine di ampere per cm^2. Questa zona viene utilizzata nel funzionamento dei diodi, dei Thyratrons e degli ignitrons.

V.2 - Diodi a gas a catodo freddo.

Appartengono a questo gruppo i tubi stabilizzatori di tensione. Essi funzionano nel tratto E F della caratteristica del diagramma in figura 152 ove una piccolissima variazione di tensione da luogo ad una grande variazione di corrente nel tubo.

Nei tubi stabilizzatori di tensione il catodo è generalmente costituito da un cilindro e l'anodo da un conduttore filiforme posto nell'asse del cilindro. Sia il catodo che l'anodo sono quasi sempre di nichel.

Nei tubi stabilizzatori per basse tensioni, adatti per tensioni di lavoro comprese fra 60 e 100 V, il catodo viene rivestito interamente con ossidi di bario per aumentare il coefficiente di emissione secondaria. L'intensa corrente di elettroni che ne risulta contribuisce alla riduzione della caduta di tensione nel tubo.

La caduta di tensione nel tubo dipende però oltre che dalla natura del catodo anche dal tipo e dalla pressione del gas utilizzato.

I gas più frequentemente utilizzati sono l'elio ed il neon sotuna pressione dell'ordine del mm di Hg.

La figura 153 mostra gli elementi costitutivi di un tubo stabilizzatore tipo STV 500/0,1 di costruzione Telefunken costituito da quat-

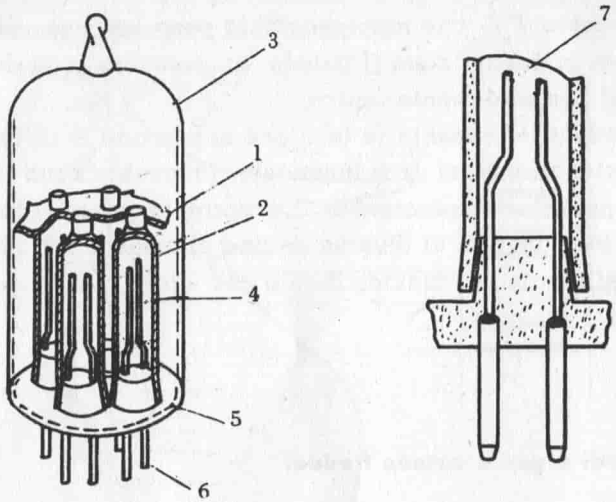


Fig. 153 - 1) disco separatore di mica; 2) involucro di un singolo elemento stabilizzatore; 3) involucro comune in vetro; 4) elemento stabilizzatore; 5) fondello porta piedini terminali ed elettrodi in vetro pressato; 6) piedini terminali; 7) elettrodi.

tro elementi stabilizzatori fra loro indipendenti racchiusi in un'unica ampolla con attacco tipo noval.

V.3 - Diodi a gas a catodo caldo.

I diodi a gas funzionano con innesco ad arco nella zona GH del diagramma di fig. 152.

L'innesco della scarica si verifica per una tensione V_0 di poco superiore al potenziale V_i di ionizzazione del gas.

La tabella 2 riporta i valori del potenziale di ionizzazione di alcuni gas e vapori utilizzati nei tubi a gas.

TABELLA 2

Gas	Pot. di ionizzazione V_i (volt)	Gas	Pot. di ionizzazione V_i (volt)
Xenon	12,1	Idrogeno	13,5
Kripton	14	Azoto	14,5
Argon	15,7	Mercurio	10,4
Neon	21,5	Sodio	5,1
Elio	24,5		

I diodi a gas, generalmente a vapore di mercurio vengono utilizzati come rettificatori di correnti alternative a frequenza industriale.

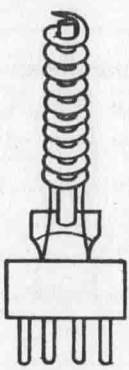


Fig. 154

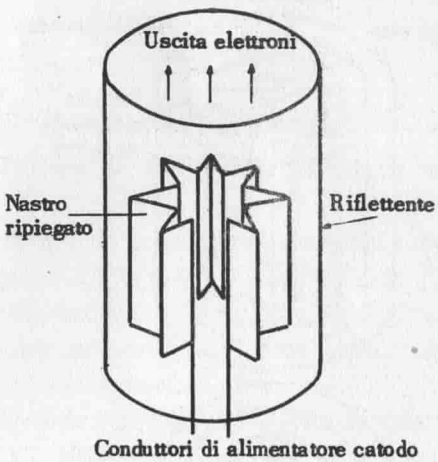


Fig. 155

I diodi utilizzati sono del tipo ad ossido a riscaldamento diretto o indiretto. I catodi a riscaldamento diretto fig. 154 sono costituiti da un filamento di tungsteno avvolto ad elica sul quale viene avvolto un altro conduttore sottile di nichel o di tungsteno provvisto di ossidi emittenti.

Questo tipo di costruzione assicura un elevato rendimento emissivo rispetto alla potenza di riscaldamento richiesto. Si costruiscono i-

noltre catodi a riscaldamento diretto a forma di piattina avvolta ad elica od a fisarmonica fig. 155 circondati da un cilindro di nichel o di molibdeno lucido che ha la funzione di riflettere sul filamento stesso il calore prodotto in modo da ridurre la potenza di riscaldamento.

Lo stesso criterio viene utilizzato nella costruzione dei catodi a riscaldamento indiretto. La fig. 156 mostra un tipo di catodo a riscaldamento indiretto costituito da un cilindro centrale, contenente il filamento riscaldante, fissato per mezzo di alette ad un cilindro di diametro maggiore a sua volta contenuto in altri due cilindri di diametro leggermente superiore che funzionano da riflettori. Gli ossidi emittenti sono depositati sulla parete interna del cilindro più vicino al filamento riscaldatore. La parte superiore del cilindro è aperta per permettere la fuoriuscita degli elettroni.

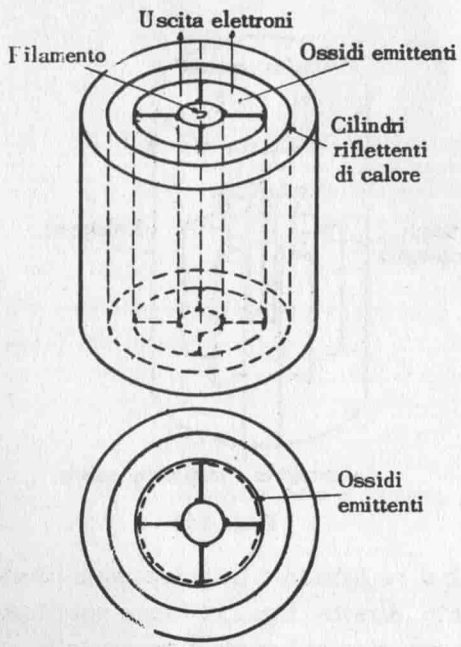


Fig. 156

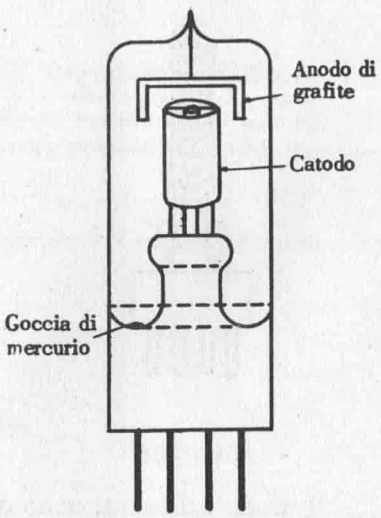


Fig. 157

Gli anodi dei diodi a gas possono essere costruiti in metallo per diodi di piccola potenza, oppure in grafite per tubi di media e grande popontenza.La fig.157 mostra la costituzione di un tipico diodo a gas.

Si possono inoltre realizzare tubi rettificatori a gas a più anodi contenuti nella stessa ampolla come mostra la fig. 158.

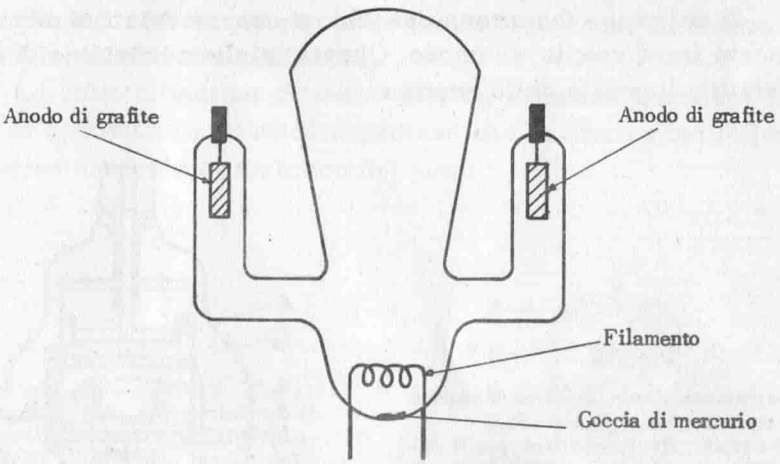


Fig. 158

Il gas normalmente utilizzato in questi tubi è costituito da vapore saturo di mercurio contenuto nell'ampolla sotto una pressione variabile fra 1 e 10 μ di Hg.

I tubi contenenti vapore di mercurio sono adatti per funzionare in una gamma di temperatura compresa fra 20° C e 60° C. Con valori di temperatura inferiori a 20° C l'arco si innesca con difficoltà e pertanto è necessario il preriscaldamento del diodo; con valori di temperatura superiori a 60° C, si possono verificare archi inversi.

Una maggiore stabilità e sicurezza di funzionamento in una gamma di temperatura compresa fra – 75 e + 90° C si ottiene utilizzando il gas Argon sotto una pressione di 0,1 mm di Hg.

Questi tubi sono adatti per rettificare forti intensità di corrente con bassi valori di tensione, come pure possono essere costruiti per rettificare correnti di qualche ampere ma con tensione di qualche migliaio di volt.

V.4 - Thyratrons a catodo caldo.

Si chiamano thyratrons dei tubi a gas provvisti di una o più griglie poste fra il catodo e l'anodo. Queste griglie permettono di comandare l'inizio e l'arresto della scarica.

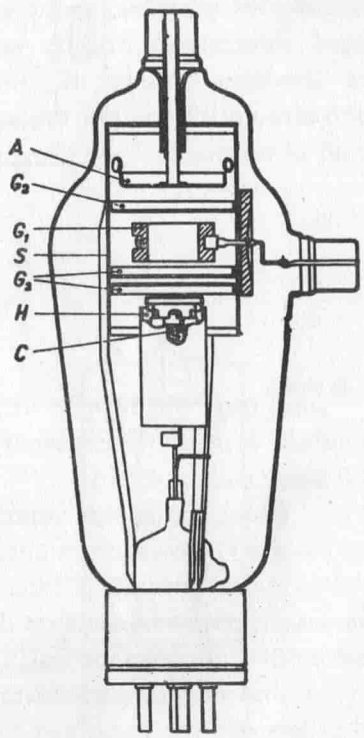


Fig. 159

Costruzione di un thyratron a vapore di mercurio del tipo tetrodo. C = catodo; H = protezione per il calore; G1 = griglia di controllo; G2 = griglia schermo; S = schermo cilindrico che circonda lo spazio di scarica e che è connesso a G2; A = anodo.

Nei thyratrons di tipo tetrodo la griglia di controllo viene protetta dall'anodo e dal catodo per mezzo di una griglia schermo. L'applicazione di questa griglia schermo offre il vantaggio che la corrente di griglia controllo è piccola, quando il tubo non è conduttivo, come pure è piccola la capacità tra la griglia di controllo e l'anodo. Ciò evita eventuali inneschi del tubo dovuti a variazioni di tensione anodica.

Gli anodi ed i catodi, questi generalmente a riscaldamento indiretto, sono dello stesso tipo di quelli già visti per i diodi a gas.

La griglia schermo G_2 consiste di anelli multipli circondati da un cilindro fig. 159. La griglia di controllo viene così ad essere schermata sia dal catodo che dall'anodo.

La parte cilindrica S della griglia schermo circonda l'intero spazio di scarica e in tal modo impedisce che la scarica sia influenzata da qualsiasi carica elettrostatica del vetro.

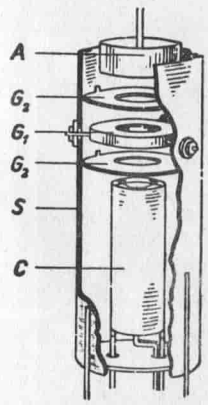


Fig. 160

Esempio della costruzione di un thyratron con caratteristica di controllo negativa. Il significato delle lettere è lo stesso della fig. 158.

La griglia controllo G_1 prende la forma di un anello e può essere di grafite oppure di metallo. I thyratrons con una caratteristica negativa di innesco hanno una griglia di controllo con un'apertura abbastanza grande fig. 160.

I thyratron con caratteristica positiva di innesco sono provvisti di una griglia di controllo costituita da uno o più anelli con un numero di aperture più piccole, ciò provoca un'azione fortemente schermante.

I thyratrons a catodo caldo sono utilizzati come rettificatori di tensioni, nei circuiti temporizzatori delle saldatrici elettriche, nei circuiti di comando a distanza, nei sistemi di regolazione della velocità di motori elettrici ed in molte altre applicazioni industriali.

La fig. 161 mostra lo spaccato di un thyratron (triodo) a gas inerte tipo PL 6011 di costruzione Philips.

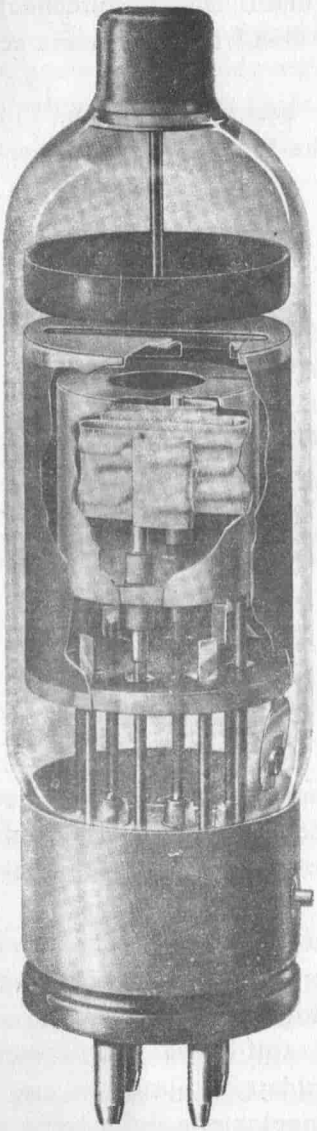


Fig. 161

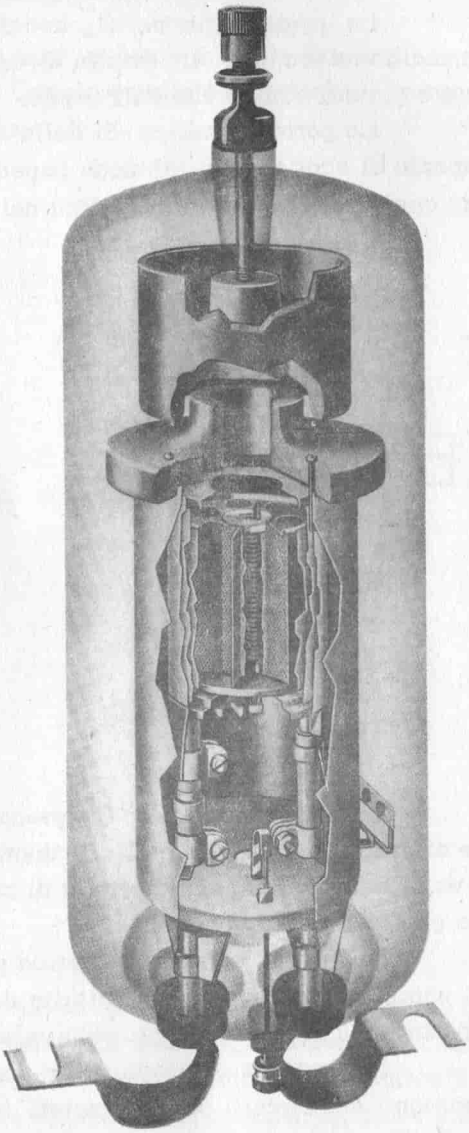


Fig. 162

La fig. 162 mostra lo spaccato di un thyratron (triodo) a vapori di mercurio tipo PL 255 di costruzione Philips.

V.5 - Ignitron.

L'ignitron è un tubo elettronico costituito da un catodo di mercurio, da un elettrodo di comando ignitor costituito da una barretta di materiale semiconduttore, come carburo di boro o carburo di silicio, parzialmente immerso nel mercurio e da un anodo di grafite.

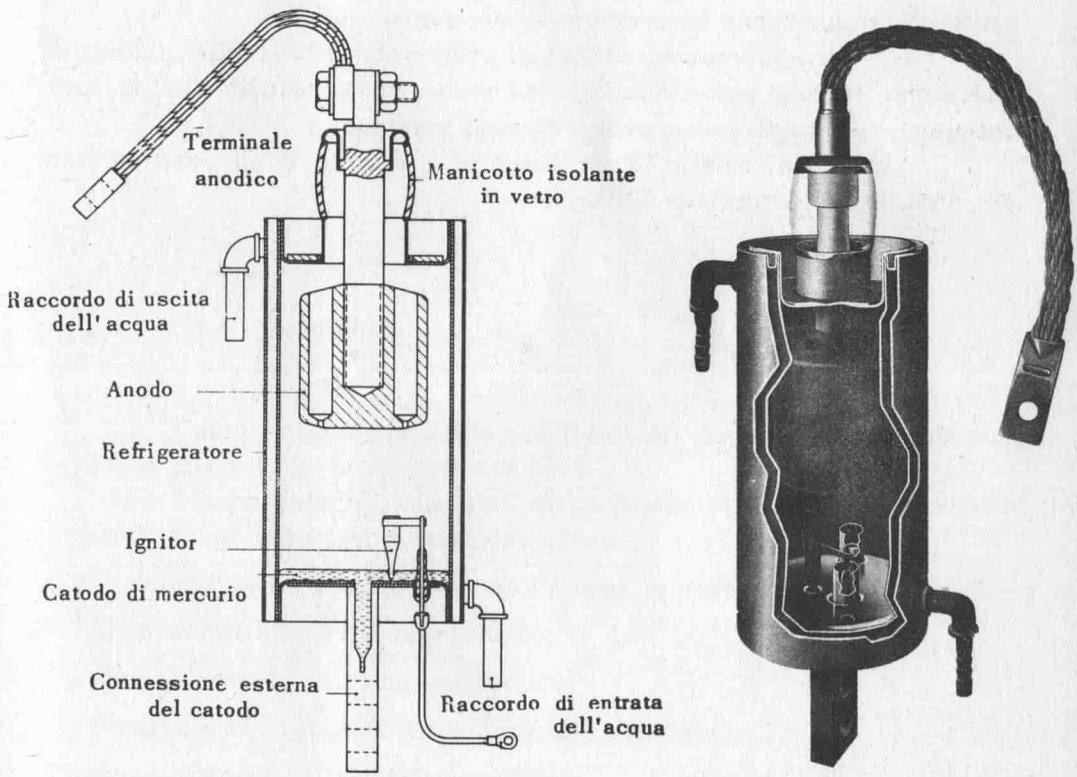


Fig. 163

Il compito che viene normalmente affidato ad un ignitron è quello di aprire e chiudere un circuito. In condizioni di riposo esso infatti non conduce corrente e può essere quindi immaginato come un interrut-

tore aperto; si può però provocarne la chiusura istantanea se si crea nel suo interno una scarica tra anodo e catodo. L'inizio di questa scarica viene provocata facendo passare un'impulso di corrente attraverso l'ignitor. Si formano così istantaneamente dei piccoli archi tra ignitor e mercurio che provocano l'innesco dell'arco principale fra l'anodo ed il catodo dopo circa un centomillesimo di secondo dalla chiusura del circuito dell'ignitor.

L'arco così innescato si estingue solo nel momento in cui la corrente principale tende ad invertire il suo senso.

Gli ignitron vengono utilizzati come interruttori nelle saldatrici elettriche; trovano però largo impiego anche come rettificatori di forti intensità di correnti con elevati valori di tensione.

La fig. 162 mostra la sezione e lo spaccato di un ignitron tipo PL 5552 A di costruzione Philips.

*

CAPITOLO VI

TUBI A RAGGI CATODICI E TUBI FOTOELETTRONICI.

VI.1 - Generalità.

Questi tubi utilizzano le proprietà dei raggi catodici osservati per la prima volta da Plucker nel 1859.

I raggi catodici, costituiti da un flusso di elettroni, emessi dal catodo hanno le seguenti caratteristiche:

- Si propagano in linea retta verso l'anodo, in assenza di campi esterni;
- Sono deviati da un campo elettrico;
- Sono deviati da un campo magnetico;
- Determinano la fluorescenza di alcune sostanze;
- Impressionano le lastre fotografiche;
- Provocano la ionizzazione dei gas e dei vapori;
- Possono acquistare una grande energia se vengono accelerati;
- Sono dotati di un certo grado di penetrazione nel bersaglio, tanto maggiore quanto maggiore è l'energia da essi posseduta.

I raggi catodici possono essere concentrati in fascetti molto sottili mediante un sistema concentratore, capace di agire sul fascio di

elettroni così come una lente convessa agisce su un fascio di luce. Questo risultato si può raggiungere sia impiegando un sistema di concentrazione magnetico che un sistema di concentrazione elettrostatico.

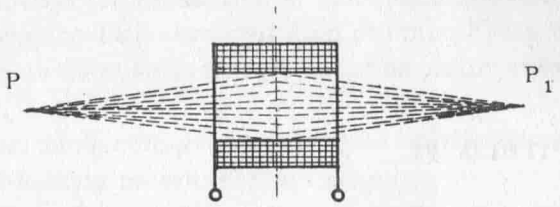


Fig. 164 - Concentrazione magnetica di un pennello elettronico.

Il sistema di concentrazione magnetico è costituito da una bobina cilindrica, a strati sovrapposti, che viene disposta, esternamente al tubo, in modo che l'asse di questa coincida con l'asse del pennello e-

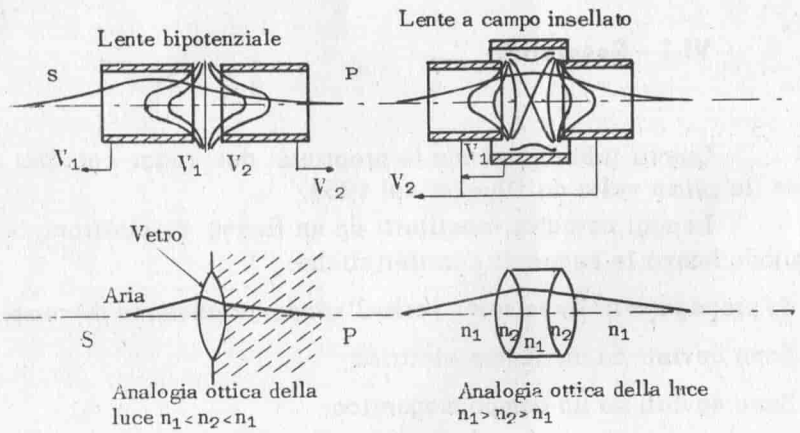


Fig. 165

lettronico fig. 164. Facendo percorrere la bobina da una corrente continua si determina un campo magnetico longitudinale che agisce su ogni singolo elettrone proporzionalmente alla deviazione di questo rispetto all'asse del fascetto elettronico. Se il campo magnetico ha l'intensità richiesta tutti i raggi che compongono il fascetto si incontrano in un punto P posto sull'asse. Variando la corrente nella bobina, il punto P può essere spostato a piacere lungo l'asse.

Il sistema di concentrazione, eletrostatico è costituito normalmente da due anodi cilindrici a diverso potenziale, disposti come in figura 165, fra i quali si produce un campo elettrico di deviazione del fascetto elettronico dello stesso tipo di quella ottenuta da una lente ottica nei riguardi di un raggio luminoso come mostra l'analogia in fig. 165.

La lunghezza focale di un sistema di concentrazione di questo tipo dipende dalle tensioni V_1 e V_2 dei due elettrodi cilindrici. La tensione V_2 dal lato dell'immagine è di solito più alta della tensione V_1 dal lato dell' oggetto. Il campo elettrostatico a simmetria assiale agisce sul fascetto elettronico concentrando tutti i raggi nel punto P. La distanza fra P ed S, dipende dalla differenza di potenziale V_1 e V_2 esistente fra i due elettrodi.

I principali tipi di tubi funzionanti a raggi catodici e di tubi fotoelettronici si possono suddividere in:

- ***tubi a raggi catodici per oscilloscopi e per la riproduzione di immagini di televisione;***
- ***cellule fotoelettroniche;***
- ***tubi fotomoltiplicatori***
- ***tubi di ripresa di immagini di televisione.***

VI.2 - Tubi a raggi catodici per oscilloscopi e per la riproduzione di immagini di televisione.

La fig. 166 mostra la struttura di un tipico tubo a raggi catodici. Esso è costituito da un'ampolla di vetro entro la quale viene effettuato un vuoto molto spinto. Quest'ampolla contiene nella sua parte più allungata un insieme di elettrodi che costituiscono il cosiddetto *cannone elettronico*. Compito del *cannone elettronico* è di lanciare gli elettroni, opportunamente concentrati, verso la parte opposta più estesa e appiattita dell'ampolla (schermo) sulla cui superficie interna viene depositato uno strato costituito da un unico tipo di materiale fluorescente oppu-

re da un miscuglio di materiali fluorescenti di varia natura a seconda del colore e della persistenza della luminosità richiesta.

- Elementi costitutivi di un tubo a raggi catodici.

Il cannone elettronico di un tubo a raggi catodici a concentrazione elettrostatica è costituito dal filamento, dal catodo, dalla griglia di controllo (disco di Wenhelt) , da un certo numero di elettrodi formanti un insieme di lenti convergenti di focalizzazione e di anodi acceleratori come mostra la fig. 167

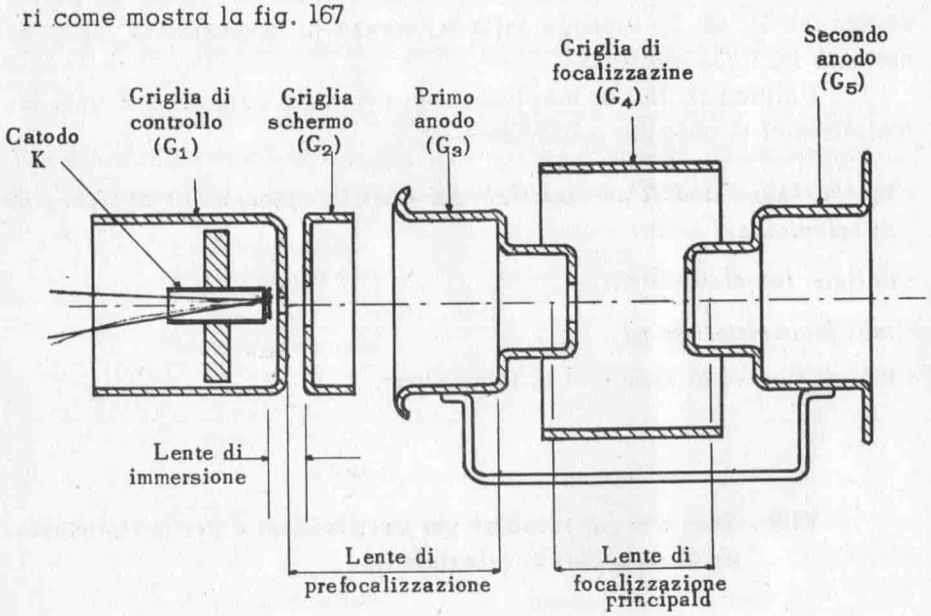
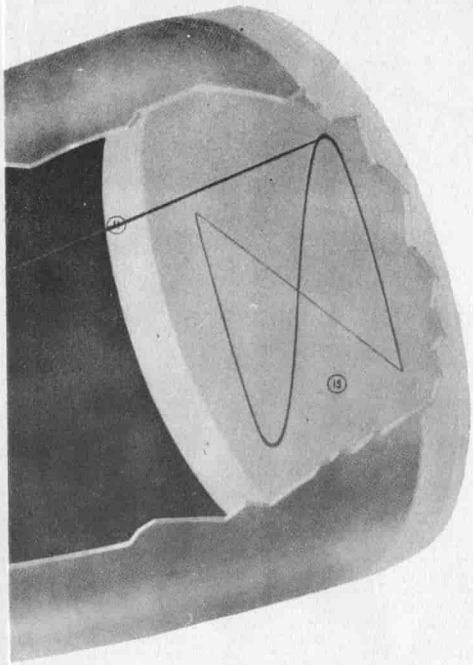


Fig. 167

I metalli utilizzati per la realizzazione di questi elettrodi sono gli stessi di quelli utilizzati nella costruzione dei tubi elettronici ordinari.

Il catodo è costituito da un cilindro di nichel chiuso ad una estremità. La superficie esterna di questa estremità è rivestita di ossidi emittenti. L'estremità aperta del cilindro permette l'uscita del filamento isolato dal cilindro per mezzo di uno strato di ossido di alluminio.



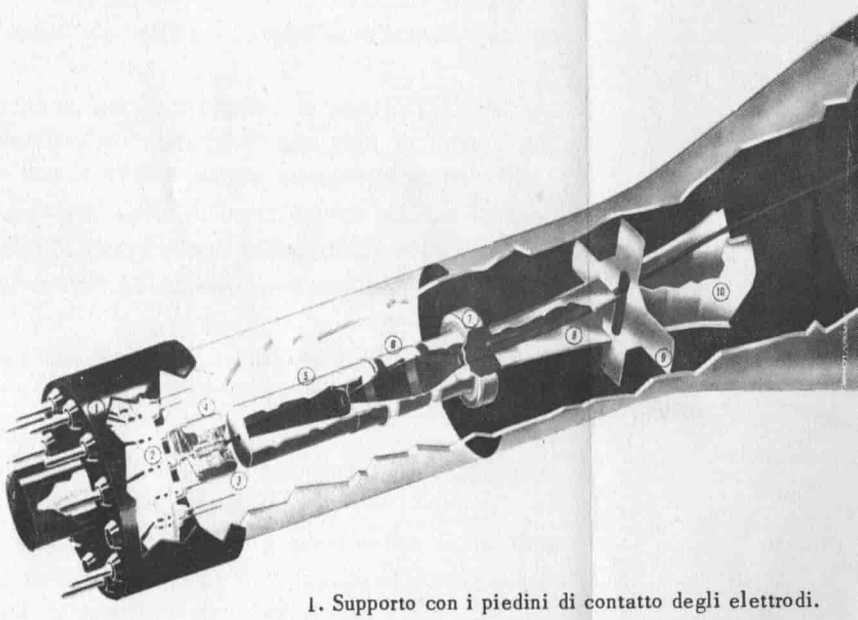
ppie delle placchette de-

essione orizzontale del fa-

ttrodo di post-accelerazio-
formato da un rivestimento
ll'interno dell'ampolla in
mo.

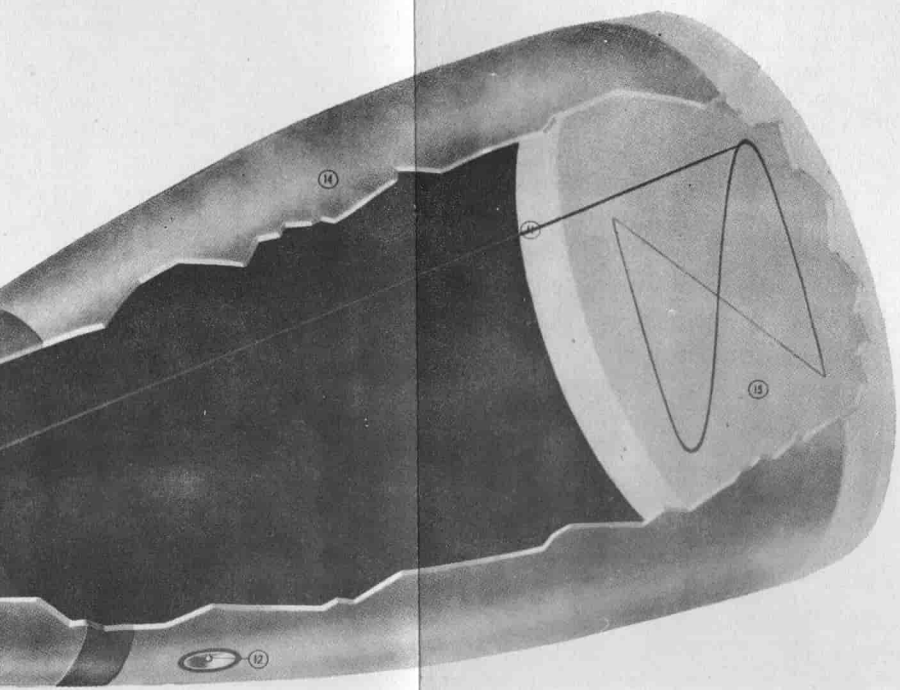
tra l'elettrodo di post-ac-
imento conduttivo che si e-
o del tubo.

materiali fluorescenti.



1. Supporto con i piedini di contatto degli elettrodi.
2. Fondello di vetro del tubo con i terminali di collegamento e tubetto di vetro per effettuare il vuoto dell'ampolla.
3. Catodo riscaldato indirettamente mediante un filamento.
4. Elettrodo di controllo.
5. Primo elettrodo acceleratore con diaframma.
6. Elettrodo focalizzatore.
7. Secondo elettrodo acceleratore con diaframma.
8. Placchette per la deflessione verticale del fascetto elettronico.

Fi



9. Schermo tra le due coppie delle placchette deflettrici.
10. Placchette per la deflessione orizzontale del fascetto elettronico.
11. Fascetto elettronico.
12. Collegamento per l'elettrodo di post-accelerazione. Questo elettrodo è formato da un rivestimento conduttore disposto all'interno dell'ampolla in prossimità dello schermo.
13. Anello di isolamento tra l'elettrodo di post-accelerazione e il rivestimento conduttivo che si estende fino al fondello del tubo.
14. Bulbo di vetro.
15. Schermo rivestito con materiali fluorescenti.

Questa realizzazione del catodo, con superficie emittente limitata permette di ottenere un fascio elettronico molto sottile.

La griglia di controllo o cilindro di Wenhelt è costituita da un cilindro generalmente di nichel contenente il catodo e munita nella sua estremità posteriore di un diaframma attraverso il quale passa il fascetto elettronico.

La griglia controllo, sempre polarizzata a potenziale negativo rispetto al catodo, ha il compito di variare l'intensità luminosa del fascetto elettronico.

Gli elettrodi cilindrici di accelerazione e di focalizzazione sono muniti di diaframmi che, a seconda del posto che essi occupano nel cannone elettronico, hanno lo scopo di bloccare gli ioni prodotti dal fascetto elettronico e di evitare il deposito di bario dovuto alla vaporizzazione del getter sugli elettrodi. I bordi degli elettrodi acceleratori, primo anodo e secondo anodo, sono generalmente arrotondati per evitare la formazione di effluvi.

La forma dei diversi elettrodi che compongono il cannone elettronico è studiata in modo da ridurre al minimo le aberrazioni dovute alle lenti elettroniche.

La deviazione del fascetto elettronico può essere ottenuta mediante un sistema elettrostatico o elettromagnetico.

In genere si usano sistemi di deviazione elettrostatica in tubi per oscilloscopi, mentre si usano sistemi di deviazione elettromagnetici in tubi per la riproduzione di immagini di televisione.

Il sistema di deviazione elettrostatico è costituito da due coppie di placchette, poste come al numero 8 e 10 della fig. 166. Esse sono sistemate in modo che la loro azione sul fascetto elettronico sia perfettamente identica e simmetrica.

Fra le due coppie di placchette viene normalmente inserito uno schermo elettrostatico, numero 9 della fig. 166, provvisto di una apertura verticale. Per evitare fenomeni di distorsione trapezoidale dell'immagine le placchette di deviazione hanno una forma particolare e sono leggermente divergenti.

Il sistema di deviazione elettromagnetico viene utilizzato in tutti quei casi ove si richiedono grandi angoli di deflessione, con piccole dimensioni di ingombro del tubo, come nei tubi per televisione. Esso è

generalmente costituito da due coppie di bobine coassiali avvolte su di un circuito magnetico costituito da due semi-anelli di ferrite poste in modo da generare due campi magnetici perpendicolari l'uno all'altro.

Tutto il sistema così costituito viene disposto esternamente al collo del tubo, in posizione generalmente regolabile per mezzo di una cravatta di fissaggio.

Nei tubi con collo molto corto, (tubi con angolo di deflessione di 90° e 110°) le bobine sono realizzate con collegamenti in piano ad un estremo e cilindrici all'altro come mostra la fig. 168 per permettere di avanzare il campo magnetico di deviazione verso la parte divergente del tubo conseguendo così una migliore utilizzazione della lunghezza del tubo.

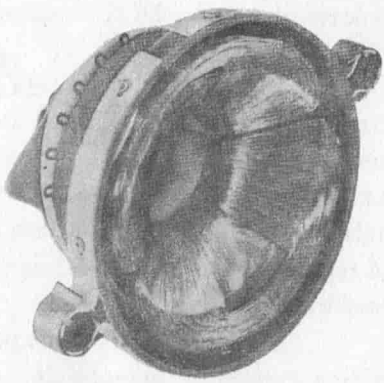


Fig. 168

La sensibilità dei due sistemi per un dato spostamento del punto sullo schermo è inversamente proporzionale alla tensione di accelerazione del fascetto.

La luminosità del punto sullo schermo, formato dal fascetto elettronico, è invece direttamente proporzionale alla tensione di accelerazione del fascetto. Si ha pertanto interesse, al fine di aumentare la luminosità del punto senza diminuire la sensibilità di deviazione del tubo ad eccelerare il fascetto elettronico dopo il suo passaggio attraverso il sistema di deviazione.

Questo compito è svolto dall' elettrodo di post-accelerazione, numero 12 della fig. 166, formato da un rivestimento conduttore, di grafite colloidale, disposto all'interno dell'ampolla in prossimità dello schermo e polarizzato ad un potenziale positivo rispetto al catodo di qualche decina di KV. Questo elettrodo è isolato dal rivestimento conduttivo, che

si estende fino al fondello del tubo, da un anello di isolamento, numero 13 della fig. 166. Esso ha inoltre il compito di raccogliere gli elettroni secondari emessi dall'urto del fascetto elettronico sullo schermo e di evitare insieme al rivestimento conduttivo la riflessione sullo schermo di raggi di luce provenienti dalla parte posteriore del tubo.

Lo schermo del tubo catodico è rivestito internamente con materiali fluorescenti che differiscono tra di loro per il colore della luce emessa, per la sensibilità, (data dal rapporto tra la quantità di energia luminosa irradiata e la quantità di energia eccitante), per il colore della luce emessa e infine per la persistenza della luminescenza.

L'apparizione e la scomparsa della fluorescenza è praticamente istantanea all'inizio ed al termine dell'azione eccitatrice ed il tempo, sia pure brevissimo, in corrispondeza del quale la luminosità perdura, al termine dell'eccitazione, è determinato da effetto di fosforescenza. Tale durata può variare da un quarto di secondo, per i materiali fluorescenti a base di solfato di zinco, a qualche microsecondo, per i materiali tungstati. Gli schermi a base di solfuro di zinco e cadmio con tracce di nichel emettono luce bianca e sono caratterizzati da fosforescenza praticamente nulla: infatti la persistenza della luminosità al cessare dell'eccitazione, è inferiore al microsecondo.

La tabella 3 mostra la composizione e le principali caratteristiche di alcuni composti fluorescenti maggiormente utilizzati per la costruzione di tubi a raggi catodici.

I costruttori di tubi a raggi catodici forniscono, per ciascun tipo di composto fluorescente il diagramma della caratteristica spettrale, generalmente ottenuta per via sperimentale espressa in unità arbitarie in funzione della lunghezza d'onda in Å, nell'intervallo dello spettro visibile compreso tra 4000 e 8000 Å.

La fig. 169 mostra la caratteristica della sensibilità spettrale di un tubo a raggi catodici per televisione riferita a quella dell'occhio umano.

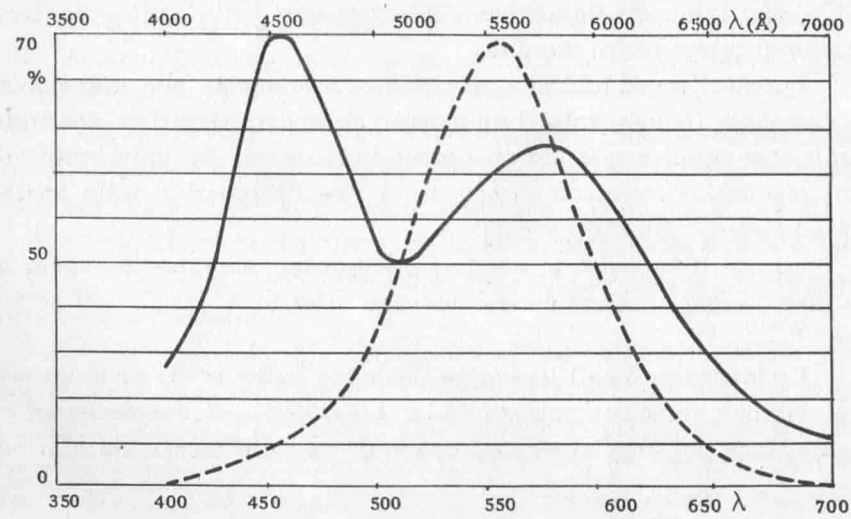
La formazione dell'immagine luminosa sullo schermo di un tubo per televisione viene determinata dalla ***sensibilità di contrasto*** del cinescopio, cioè dal fatto che modificando il segnale applicato alla sua

TABELLA 3

Composizione e principali caratteristiche di alcuni composti fluorescenti maggiormente utilizzati per la costruzione dei tubi a raggi catodici

Tipo di materiale	Denominazione Europea	Denominazione Americana	Composizione	Colore	λ Spettrale max (Å)	Persistenza (sec)*	Rendimento luminoso (candela per Watt)	Applicazioni
Solfuro di Zn più silicato doppio di Zn e Be	W	P_4	Zn (con 0,01% Ag) + 8 ZnO, BeO, 5 SiO_2 (con 1% Mn)	bianco	4.500	$6 \cdot 10^{-2}$	2,5	Tubi per televisione in bianco e nero
Silicato di Zinco	G	P_1	SiO_4Zn_2 (con 0,25% Mn)	verde	5.250	$5 \cdot 10^{-2}$	3	Tubi per oscilloscopi di misura
Solfuro di Zinco su solfuro di Zn e di Cadmio	P	P_7	ZnS (con 0,015% Ag) su 86% ZnS + +14% CdS (con 0,0073% di Cu)	bianco blu-astro	4.400	3	2,4	Tubi per oscilloscopi ad alta persistenza e tubi per radar

* - Per una diminuzione del 10% del valore massimo iniziale.



– – – Sensibilità spettrale dell'occhio umano.
——— Sensibilità spettrale di un tubo per televisione

Fig. 169

griglia controllo si ottengono sensibili variazioni di brillanza nei corrispondenti punti luminosi che compaiono sullo schermo. Tanto maggiore è la sensibilità di contrasto tanto più facile risulta l'uso pratico di un cinescopio. Notevoli limitazioni però si oppongono al raggiungimento di un grado elevato di contrasto come; effetti di alone, riflessioni spurie sulle pareti interne del tubo, abbagliamento da parte della luce ambiente.

Nei moderni cinescopi questi effetti sono stati notevolmente ridotti mediante l'adozione di speciale vetro assorbente per lo schermo, annerimento delle pareti del bulbo ed adozione di finissima zigrinatura della superficie frontale, accorgimenti questi che hanno lo scopo di assorbire o diffondere eventuali luci disturbanti.

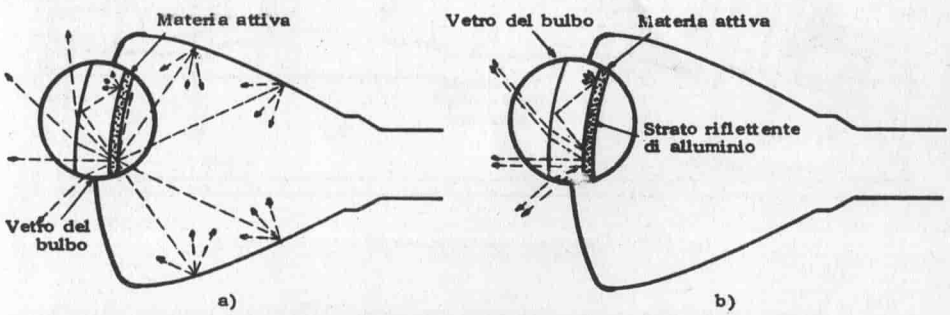


Fig. 170 - Confronto fra cinescopio normale (a) e cinescopio a strato riflettente (b).

Un miglioramento della sensibilità di contrasto si è potuta ottenere con l'aggiunta di un sottilissimo strato di alluminio disposto sulla parete interna dello schermo fluorescente, posteriormente al fosforo, allo scopo di riflettere frontalmente la luce generata dal fosforo stesso aumentando così l'intensità e limitando contemporaneamente le diffusioni spurie. La sensibilità di contrasto risulta in questo modo assai più elevata.

La fig. 170 mostra un evidente confronto fra un cinescopio di tipo normale (a) e un cinescopio con schermo metallizzato. Questa metallizzazione di tutta la superficie dello schermo assicura inoltre una uniforme distribuzione del potenziale sullo schermo e riduce l'effetto dannoso del bombardamento ionico che provoca la bruciatura dei fosfori sul-

la parte centrale dello schermo, dando luogo, alla così detta macchia ionica. Ciò si verifica specialmente nei tubi con deviazione magnetica.

Il sottilissimo strato di metallizzazione riduce questo effetto perché blocca gli ioni negativi.

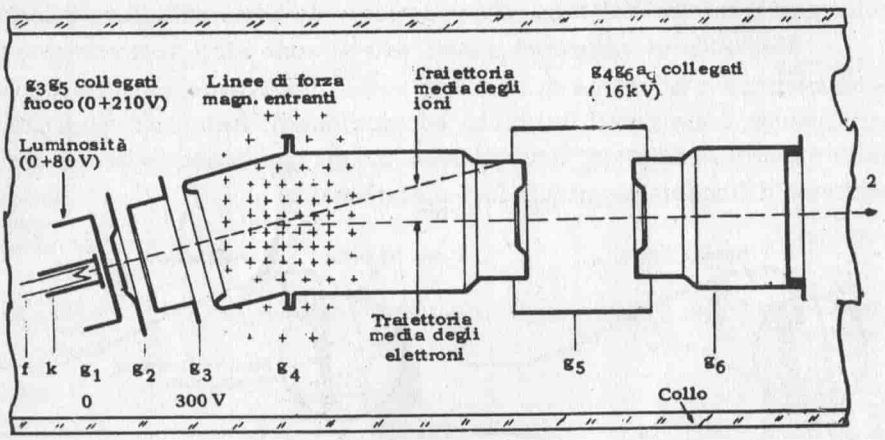


Fig. 171 - Cannone elettronico di tipo inclinato.

Questo inconveniente nei tubi non metallizzati viene eliminato utilizzando cannoni elettronici, di tipo inclinato, come mostra la figura 171, oppure, cannoni elettronici con il primo e secondo anodo tagliati a becco di flauto. In questi casi il fascetto elettronico, inclinato rispetto all'asse del tubo, viene raddrizzato, solo per gli elettroni, per mezzo di un campo magnetico, generato da un magnete disposto generalmente sul collo del tubo, trappola ionica fig. 172, mentre gli ioni, insensibili al campo magnetico, proseguono diritti lungo la traiettoria iniziale fino a raggiungere ad essere assorbiti dagli elettrodi del cannone elettronico.

In questi ultimi anni la produzione dei cinescopi ha subito delle sensibili evoluzioni sia nelle dimensioni che nel peso, a parità di dimensioni dello schermo.

Il conseguimento pratico di questi miglioramenti è stato reso possibile con l'avvento sul mercato dei cinescopi con angolo di defles-

sione di 90° e 110° come mostra la fig. 173. Una ulteriore riduzione delle dimensioni longitudinali del cinescopio è stata possibile con l'im-

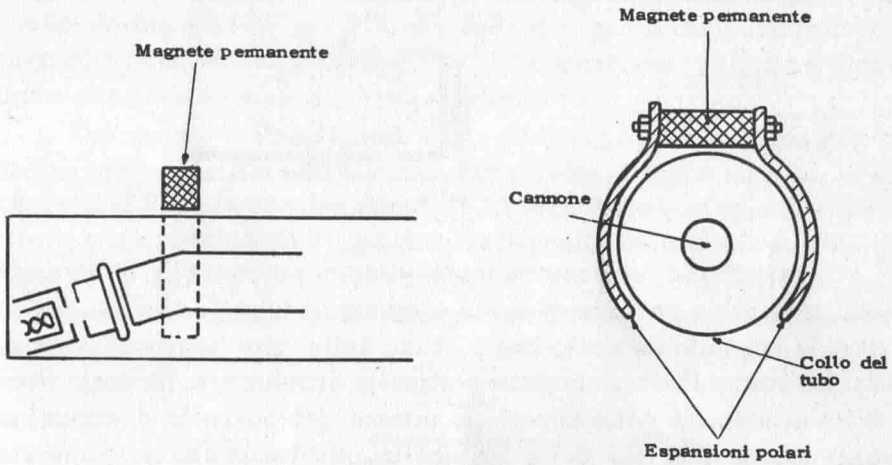


Fig. 172 - Trappola ionica.

piego di un nuovo tipo di cannone elettronico tripotenziale fig. 174 di lunghezza raccorciata, progettato dalla Silvania.

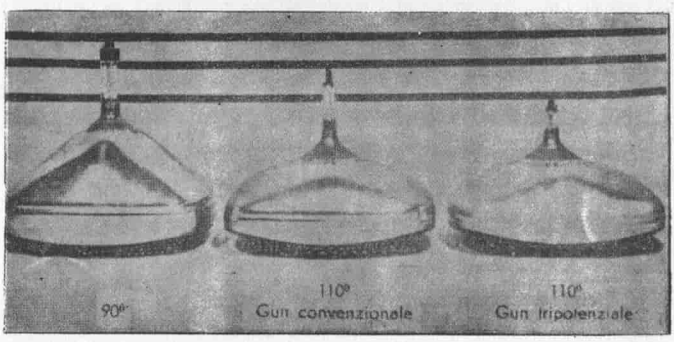


Fig. 173 - Confronto della profondità del cinescopio 90°, 110° e 110° collo corto.

Un ulteriore miglioramento nella produzione dei tubi per televisione si è ottenuto con il cinescopio provvisto di pannello protettivo (bonded shield).

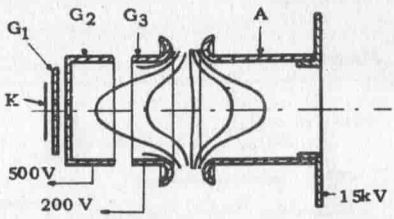


Fig. 174
Schema di un cannone tripotenziale.

Questo tipo di cinescopio è provvisto di un pannello di sicurezza completamente e permanentemente aderente al tubo. Si elimina così il tradizionale pannello separato che a causa delle alte tensioni in giogo nel tubo favorisce l'accumulo delle particelle di polvere sulla parte frontale del cinescopio e sulla superficie interna del pannello di sicurezza con conseguente riduzione della luminosità dell'immagine, del contrasto e della risoluzione dell'immagine.

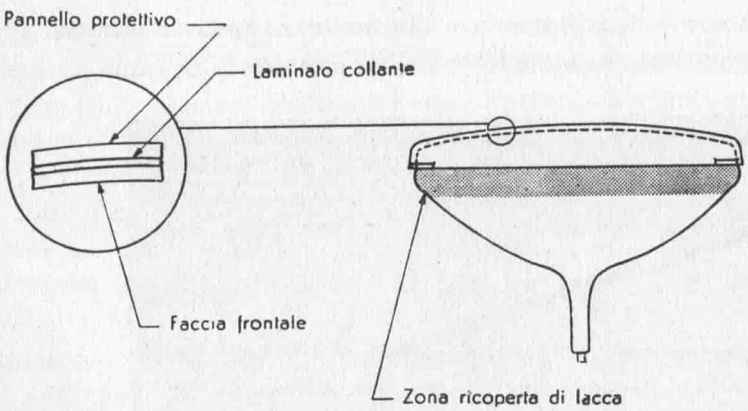


Fig. 175

Nel cinescopio bonded shield il pannello protettivo, che è di vetro, è costruito con la stessa precisione della faccia anteriore dello

schermo, e si adatta ad essa con tutto il contorno. La fig. 175 mostra la costruzione della faccia del cinescopio con pannello protettivo. Il pannello è fatto aderire permanentemente e fortemente al complesso del cinescopio mediante una resina epossidica termoindurente. Tale resina ha lo stesso indice di rifrazione del vetro usato come frontale del cinescopio e del pannello sovrapposto. Il legame che si forma è perciò otticamente perfetto e sufficientemente robusto.

Con questo sistema il tubo con pannello protettivo a contatto ha solo due elementi riflettenti; la superficie interna della faccia e la superficie esterna del pannello attaccato, invece delle quattro superfici riflettenti che si ottengono utilizzando un pannello protettivo separato come mostra la fig. 176. Si ha così una riduzione della riflessione della luce esterna e quindi un sostanziale aumento del contrasto e della luminosità del tubo.

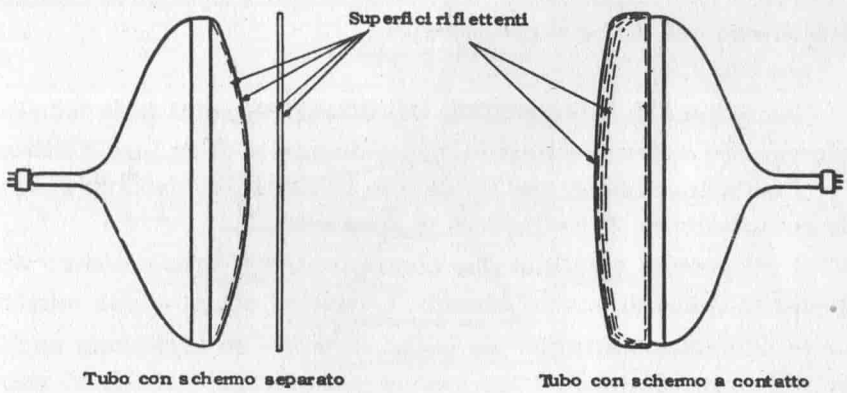


Fig. 176

Un ulteriore aumento del contrasto si ottiene colarando il vetro del pannello. Quest' ultimo diventa così un filtro grigio che riduce la quantità di luce esterna che passa attraverso il pannello e viene riflessa dal tubo.

Il tubo con pannello protettivo presenta, inoltre, il vantaggio di una minore distorsione dell'immagine, quando è osservato lateralmente perché lo schermo è più appiattito ed il vantaggio di una completa pro-

tezione contro l'implosione. Caratteristica questa molto importante per il personale che deve maneggiare questo componente.

Un altro elemento caratteristico dei nuovi cinescopi è quello che gli schermi hanno una forma rettangolare più accentuata rispetto ai tipi più vecchi, l'immagine, pertanto, è tutta contenuta sull'area luminescente, mentre nei vecchi tubi era consueto lasciare gli angoli dell'immagine al di fuori dello schermo. In questo caso gli elettroni del fascio andavano a colpire agli estremi le parti del bulbo invece che lo schermo: una certa quantità di questi ultimi veniva riflessa all'indietro andando così a colpire di rimbalzo lo schermo con conseguente produzione di una luminescenza di fondo che riduceva il contrasto ottenibile dalla scansione primaria. Con i nuovi cinescopi a causa della assenza di questo fenomeno si ottiene un migliore contrasto dell'immagine perché le zone non colpite dagli elettroni appaiono effettivamente nere.

Fabbricazione dei tubi a raggi catodici.

La tecnica di fabbricazione dei diversi elementi di un tubo a raggi catodici non differisce sensibilmente da quella di un tubo elettronico.

I metalli utilizzati per realizzare i differenti elettrodi sono principalmente il nichel, il molibdeno, il tungsteno.

I componenti metallici che costituiscono il tubo catodico vengono degassati prima di essere montati. L'assemblaggio viene effettuato mediante saldature elettriche per punti in modo da assicurare degli eccellenti contatti elettrici ed una grande robustezza e solidità dei vari elettrodi.

Gli elementi che costituiscono il cannone elettronico vengono fissati per mezzo di sostegni a delle barrette di ceramica, sistemate parallelamente alla generatrice del cannone elettronico.

Le principali difficoltà nella fabbricazione dei tubi a raggi catodici risiedono nella preparazione dello schermo.

Il deposito del materiale fluorescente sulla faccia interna viene generalmente effettuato mediante un procedimento per sedimentazione.

Questo procedimento può essere considerato come suddiviso nelle seguenti tre fasi principali:

a) - lavaggio dell'ampolla;
b) - deposito dello strato fluorescente;
c) - rivestimento metallico dello schermo.

a) - Il lavaggio dell'ampolla viene effettuato prima con una soluzione di HCl al 25%, seguito da ripetuti risciacqui con acqua corrente e poi con una soluzione di acido fluoridrico al 4%, mantenuta in lenta agitazione per la durata di circa 30 secondi e seguito da ripetuti risciacqui con acqua corrente prima e con acqua bidistillata poi.

b) - Il deposito dello strato fluorescente si ottiene riempiendo il fondo dell'ampolla, posta con lo schermo verso il basso, su un apposito supporto come mostrato in fig. 177, con una soluzione di polvere fluorescente, silicato di potassio e solfato di sodio in acqua bidistillata. Il liquido pian

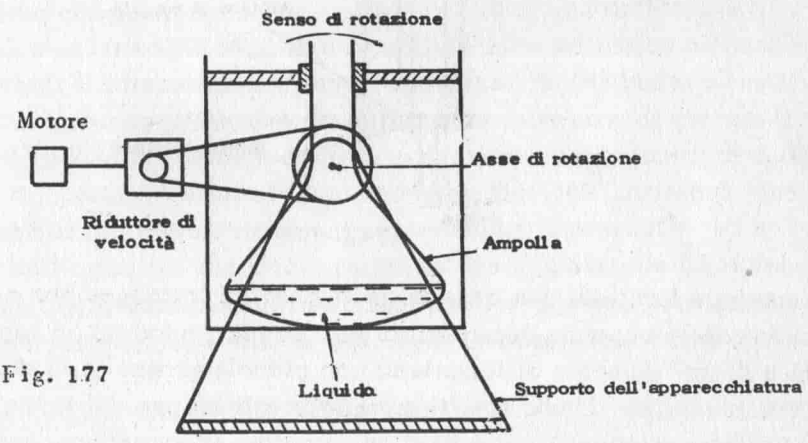


Fig. 177

piano si decanta permettendo così alla polvere fluorescente di depositarsi.

Il silicato di potassio facilita l'aderenza della polvere fluorescente sul vetro mentre il solfato di sodio, che funziona da elettrolita, permette una distribuzione uniforme dei cristalli di polvere fluorescente sul vetro impedendo a questi di caricarsi elettricamente. Dopo alcune ore l'ampolla viene vuotata lentamente ed essiccata con aria calda esen-

te da pulviscolo. L'uniformità dello strato di deposito ottenuto viene infine controllata illuminando lo schermo con raggi ultravioletti.

c) - Il rivestimento metallico dello schermo si ottiene riempiendo dapprima il fondo dell' ampolla, posta con lo schermo verso il basso sul supporto mostrato in fig. 177 con acqua bidistillata. Sul pelo libero dell'acqua si deposita uno strato sottilissimo di soluzione colloidale al 5%.

Vuotando molto lentamente l' ampolla si ottiene il deposito della soluzione colloidale sullo strato di polvere fluorescente. Dopo di che

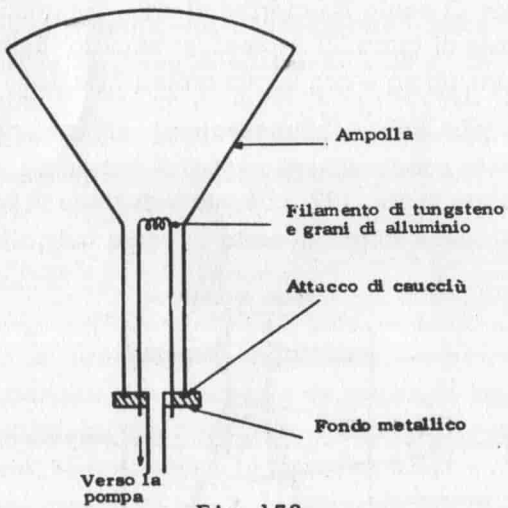


Fig. 178

si essicca lo strato con aria calda e pura. Si introduce ora nell'ampolla posta con lo schermo verso l'alto una sonda provvista di tappo di caucciù e di un filamento di tungsteno con piccole particelle di alluminio, posto in modo che il tubo risulti ermeticamente chiuso dal tappo di caucciù ed il filamento capiti nei pressi del centro di curvatura dello schermo dell'ampolla fig. 178.

Si fa ora il vuoto nell'ampolla mediante una pompa a diffusione. Quando il grado di vuoto ha raggiunto il valore di circa 10^{-4}mm di Hg si riscalda il filamento di tungsteno. L'alluminio così evapora e si deposita sullo schermo.

Durante le operazioni di definitiva vuotatura del tubo, simili a quelle dei tubi elettronici, la pellicola colloidale depositata sullo schermo evapora permettendo così allo strato di alluminio di aderire perfettamente allo strato fluorescente come mostra la fig. 179.

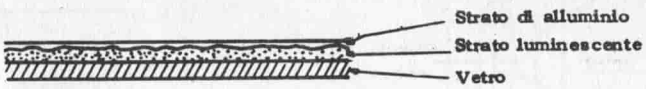


Fig. 179

VI.3 - Cellule fotoelettroniche.

Si chiama cellula fotoelettronica o fotoemissiva un dispositivo il cui funzionamento è basato sull'emissione di elettroni da parte di un metallo o di un composto metallico sotto l'azione di una radiazione.

Nella sua forma più semplice la cellula fotoelettronica consiste di due elettrodi: il fotocatodo e l'anodo racchiusi, sotto vuoto o in atmosfera di gas a bassa pressione, in un'ampolla di vetro o di quarzo.

Il fotocatodo può essere costituito da una piccola piastra di metallo opaco ricoperta di meteriale fotoemissivo fig. 180 oppure da uno strato di metallizzazione semitrasparente ottenuto depositando, su una parte piana dell'ampolla, uno strato molto sottile di materiale fotoemissivo. La luce attraversando lo strato fotosensibile provoca l'emissione elettronica da parte opposta alla direzione di provenienza della luce, come mostra la fig. 181.

Quest'ultima disposizione viene particolarmente utilizzata nei tubi analizzatori di immagine e nei tubi fotomoltiplicatori perché permette di definire perfettamente le distanze fra la sorgente luminosa ed fotocatodo.

L'anodo è formato da un conduttore cilindrico filiforme disposto parallelamente al fotocatodo.

I tipi di materiali fotosensibili, più frequentemente utilizzati come fotocatodo sono formati da composti di metalli con materiali alcali-

no terrosi aventi la funzione di ridurre l'energia necessaria per l'estrazione di elettroni dalla superficie di un metallo.

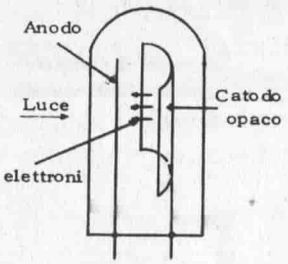


Fig. 180 - Cellula fotoelettronica a catodo opaco.

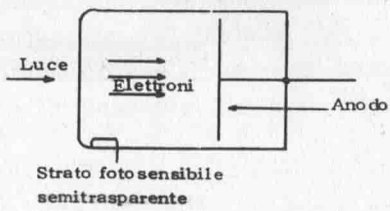


Fig. 181 - Cellula fotoelettronica a catodo semitrasparente.

Poiché una radiazione luminosa può assimilarsi ad un flusso di quanti, ognuno dotato di energia $h\nu$, dove ν è la frequenza della radiazione e h la costante di Plank,, pari a $6{,}61 \cdot 10^{-34}$ Joule-sec, si potrà avere l'emissione solo se la frequenza ν è tale che il prodotto $h\nu$ eguagli o superi l'energia necessaria per l'estrazione dell'elettrone dal metallo. La minima energia W_0 da fornire ad un elettrone libero affinché ne sia possibile l'estrazione dalla sostanza prende il nome di affinità elettronica.

Il potenziale di estrazione V_0 risulta pertanto uguale a:

VI.3-(1) $$V_0 = \frac{h\nu}{q_e}$$

ove q_e è la carica dell'elettrone.

Esprimento la VI.3-(1) in funzione della lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

della radiazione luminosa si ha:

VI.3-(2) $$V_0 = \frac{hc}{\lambda q_e}$$

ove c è la velocità della luce uguale a: $2{,}9978 \cdot 10^{8}$ m/sec = $2{,}9978 \cdot 10^{18}$ Å/sec e ricavando λ si ha:

$$\text{VI.3-(3)} \quad \lambda = \frac{h \cdot c}{V_0 \cdot q_e} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{18}}{1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot V_0} = \frac{12360}{V_0} \text{ Angstrom}$$

La VI.3-(3) fornisce il valore della soglia di emissione, cioè la lunghezza d'onda massima della radiazione capace di provocare l'emissione con un determinato valore V_0 di potenziale di estrazione.

La misura della soglia di emissione permette di determinare il potenziale V_0 necessario per ottenere l'emissione con una radiazione di una determinata lunghezza d'onda.

Da ciò deriva che per ottenere l'emissione con radiazioni di lunghezza d'onda comprese fra 4000 e 7000 Å, appartenenti allo spettro visibile, è necessario utilizzare sostanze aventi un potenziale di estrazione compreso tra 1,5 e 3 volt circa.

Valori così bassi si riscontrano solo nei materiali alcalini, mentre alcuni altri metalli limitano la loro emissione nel campo dell'ultravioletto. La tabella 4 fornisce il valore del potenziale di estrazione e la lunghezza d'onda della soglia di emissione di alcuni metalli puri utilizzati come fotocatodo.

TABELLA 4

Tipo di fotocatodo	Lunghezza d'onda della soglia fotoelettronica in Angstrom	Spettro	Potenziale di estrazione in Volt
Cesio	9000	Visibile	1,8
Rubidio	8000	e	2,15
Potassio	7000	infrarosso	2,25
Litio	5500		2,3
Tungsteno	2500		4,5
Argento	2500	Ultravioletto	4,6
Platino	2000		6,3

Il valore del potenziale di estrazione può essere ridotto contaminando la superficie del metallo emittente con appropriati materiali alcalini aventi potenziale di estrazione più basso. Ciò consente di spostare la soglia di emissione oltre il limite superiore dello spettro visibile ed inoltre di ottenere cellule con il massimo di sensibilità spettrale nelle diverse regioni dello spettro visibile.

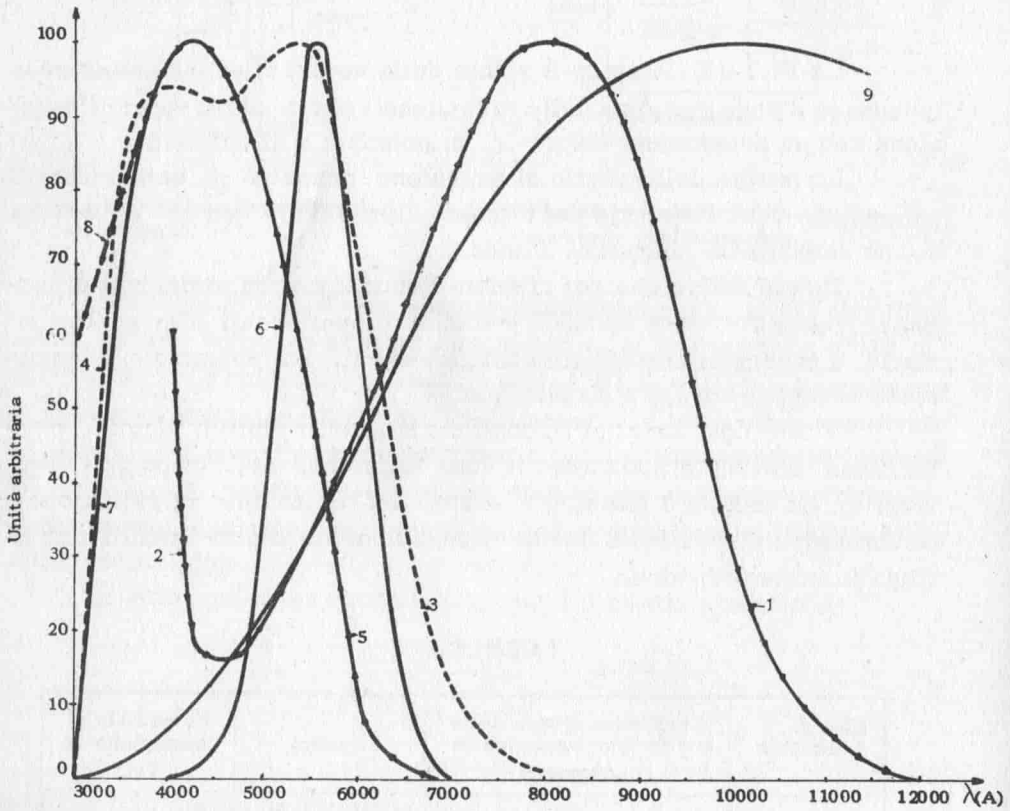


Fig. 182

1-2 - Argento-Cesio; 3-4 - Argento - bismuto - cesio; 5 - Antimonio - cesio; 6 - Sensibilità spettrale dell'occhio umano; 7 - Antimonio-cesio in ampolla di pirex; 8 - Antomonio - cesio in ampolla di quarzo; 9 - Distribuzione dell'energia irradiata da un filamento di tungsteno portato ad una temperatura di colore di 2870° K.

I principali tipi di cellule fotoelettroniche di uso più comune sono:

1) - Le cellule con fotocatodo di argento-cesio.
2) - Le cellule con fotocatodo di cesio-antimonio.
3) - Le cellule con fotocatodo di argento-bismuto-cesio.

La tabella 5 riassume le principali proprietà di questi tre tipi di fotocatodo, mentre la fig. 182 indica la sensibilità spettrale di alcuni strati fotoemissivi.

TABELLA 5

Tipo di fotocatodo	Lunghezza d'onda alla massima sensibilita, in Angstrom	λ della soglia fotoelettronica in Angstrom	Sensibilità media globale alla T_c = = 2870 °K in μA lumen
Argento-Cesio	8000	12000	30
Antomonio-Cesio	4200	6500	50
Argento-Bismuto-Cesio	4000 - 5300	8000	40

La figura riporta, inoltre, come riferimento la sensibilità spettrale dell'occhio umano e la distribuzione dell'energia irradiata da un filamento di tungsteno portato ad una temperatura di colore di 2870° K.

1) - Cellule con fotocatodo di argento-cesio.

Questo tipo di fotocatodo è sensibile nel campo dello spettro visibile e nel prossimo infrarosso fino a circa 12.000 Å.

Esso, se del tipo opaco, è costituito da un supporto a forma di piastrina, di argento o di nichel argentato. L'anodo è costituito da un conduttore metallico verticale parallelo al catodo. I due elettrodi sono fissati al supporto come in fig. 183.

L'ampolla così costituita viene vuotata. Durante questa operazione gli elettrodi vengono riscaldati ad una temperatura di circa 400° C

per favorire la fuoriuscita dei gas in essi contenuti. Dopo il raffreddamento degli elettrodi si introduce nell'ampolla dell'ossigeno, sotto una pressione di circa 0,1 mm di Hg. Si fa scoccare fra gli elettrodi una scarica luminosa mediante l'applicazione di una tensione continua fra il catodo e l'anodo. Durante questa operazione la superficie argentata cambia di colore per la formazione di uno strato sottile di ossido.

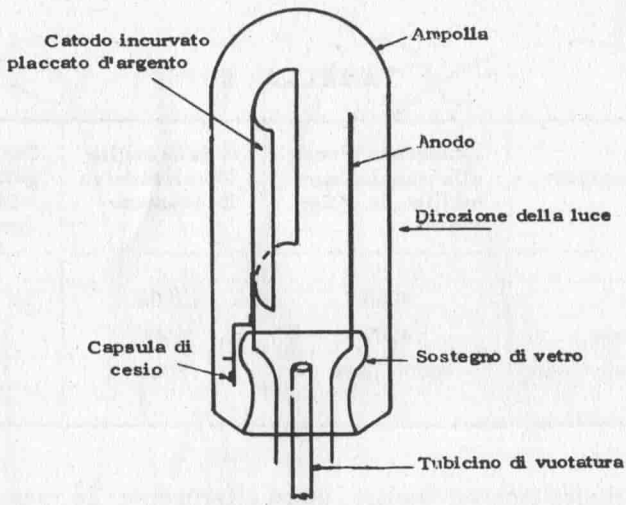


Fig. 183

L'operazione si arresta quando la superficie ha assunto una colorazione verde-bluastra. Si vuota di nuovo l'ampolla per eliminare l'ossigeno non combinato, dopo di che si fa esplodere la capsula contenente il cesio, posta nell'interno dell'ampolla.

Questo metallo si condensa sulle pareti sotto forma di goccioline giallastre. Si riscalda ora l'ampolla a 180° C, si applica agli elettrodi una tensione continua di 100 V e si investe il fotocatodo con un fascetto luminoso. Dopo qualche minuto un microamperometro inserito nel circuito indica un passaggio di corrente fotoelettrica. Durante questa operazione i vapori di cesio riducono parzialmente l'ossido d'argento e formano così uno strato complesso di Ag, AgO, Cs, CsO_2.

Con fotocatodi di questo tipo racchiusi in ampolla sotto vuoto si possono raggiungere, con luce bianca Tc = 2870°K), valori di sensibilità globale compresa fra 15 e 40 μA/lu.

2) - Cellule con fotocatodo Cesio - Antimonio.

Questo tipo di fotocatodo è sensibile nel campo dello spettro visibile e dell'ultravioletto. Esso è ottenuto per condensazione di antimonio e cesio su supporto metallico, generalmente costituito da uno strato di alluminio depositato sulla parete interna dell'ampolla con il processo di evaporazione catodica sotto vuoto.

3) - Cellule con fotocatodo di Argento-Bismuto-Cesio.

Questo tipo di fotocatodo è sensibile nel campo dello spettro visibile fino a circa 8000 Å . Viene generalmente utilizzato nei tubi di ripresa per televisione.

La tecnica di fabbricazione è identica a quella descritta per i fotocatodi con argento-cesio con l'aggiunta di una piccola percentuale di bismuto.

Cellule a vuoto ed a gas inerte.

Nell'ampolla può essere fatto il vuoto spinto fino a raggiungere valori inferiori a 10^{-6} mm di Hg, oppure in essa, dopo aver fatto il vuoto si può introdurre una piccola quantità di gas inerte.

Le cellule a vuoto vengono utilizzate specialmente in televisione e per impieghi a frequenze di lavoro fino a qualche decina di Mc/s. Hanno però l'inconveniente di avere un basso valore di sensibilità globale. Esse infatti possono raggiungere al massimo valori di 50 ÷ 70 microampere/lumen.

Le cellule a gas contenenti nell' ampolla una pressione di circa 0,1 mm di Hg di gas inerte hanno una maggiore sensibilità, dovuta alla ionizzazione degli atomi di gas in seguito agli urti con gli elettroni emessi dal catodo per effetto fotoelettrico. In queste cellule se la tensione applicata fra anodo e catodo supera un determinato valore caratteristico, funzione della pressione del gas contenuto nell'ampolla, la ionizzazione può dar luogo all' innesco di una scarica fra gli elettrodi.

Il guadagno in corrente delle cellule a gas è di circa 5-10 volte maggiore di quelle a vuoto, ma lo impiego è limitato ad applicazioni di bassa frequenza a causa dell' inerzia del flusso ionico.

La risposta in frequenza di una cellula a gas comincia pertanto a deflettere già ad una frequenza di circa 300 c/s per raggiungere un valore di attenuazione di circa 3 db alla frequenza di 15.000 c/s.

Un altro inconveniente delle cellule a gas è rappresentato dall' elevato valore della corrente di o-

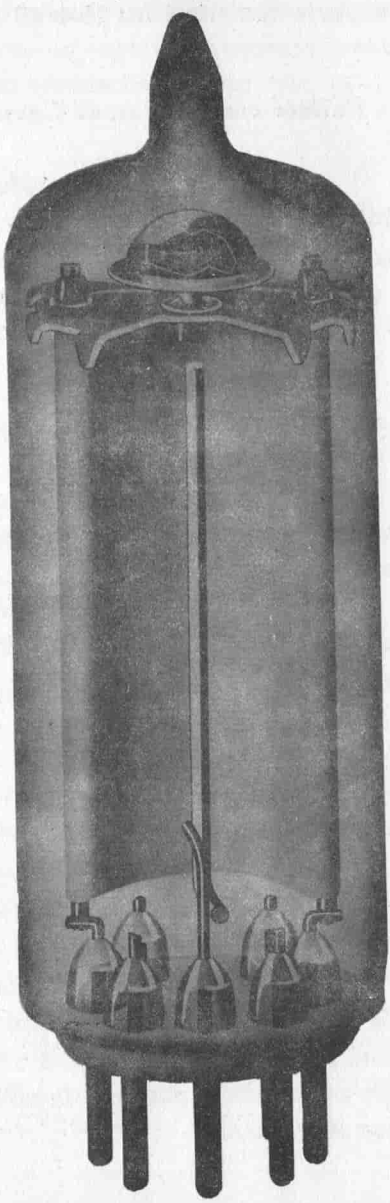


Fig. 184

scurità, cioè dalla corrente determinata da una emissione del fotocatodo in assenza di illuminazione, e sovrapposta all'emissione utile. Il valore medio di questa corrente, che costituisce il rumore di fondo della cellula, è limitato a circa 5 millimicroampere in una cellula a vuoto, mentre raggiunge valori di circa 0,1 microampere in una cellula a gas.

La fig. 184 mostra la fotografia di una fotocellula ad alto vuoto tipo 90 CV, di costruzione Philips, con catodo rivestito da uno strato di cesio su ossido di argento; particolarmente sensibile a sorgente di luce incandescente e a radiazioni vicine all'infrarosso.

4 - Tubi fotomoltiplicatori.

Il fotomoltiplicatore si può considerare come un tubo elettronico costituito da una cellula fotoelettronica seguito nello stesso involucro, da un amplificatore di corrente ad emissione secondaria a guadagno elevato e a banda molto larga.

L'emissione secondaria consiste nella emissione di elettroni secondari da parte della materia, quando questa viene bombardata da elettroni primari. Infatti se l'energia di un elettrone primario incidente ha un valore apprezzabile, l'elettrone stesso può essere in grado di liberare uno o più elettroni dalla materia. Gli elettroni secondari così liberati possono a loro volta eccitare altri elettroni.

L'emissione secondaria dipende oltre che dall'energia degli elettroni primari anche da altri vari fattori, ed in particolare, dal materiale impiegato e dall'angolo di incidenza degli elettroni sulla superficie della sostanza colpita.

Il rapporto tra il numero di elettroni secondari emessi ed il numero di elettroni primari incidenti si chiama *coefficiente di emissione secondaria* δ.

Il coefficiente di emissione secondaria dipende dall'energia de-

gli elettroni primari e dall'angolo di incidenza del fascetto di elettroni primari rispetto al piano della sostanza colpita.

Nei tubi fotomoltiplicatori la sostanza utilizzata per l'emissione secondaria deve avere un elevato coefficiente di emissione secondaria δ con un valore di tensione di accelerazione degli elettroni primari, il più basso possibile. Essa deve mantenere l'emissione secondaria stabile nel tempo ed esente da inerzia. Il lavoro di estrazione infine deve essere sufficientemente elevato per evitare una eventuale emissione secondaria per effetto termo-elettronico con conseguente aumento della corrente di oscurità e quindi del rumore di fondo della cellula.

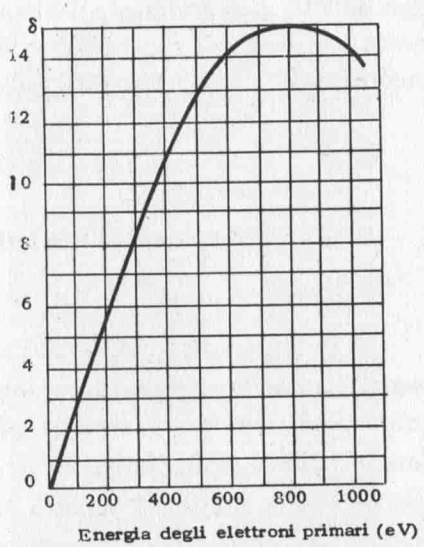


Fig. 185

Le sostanze maggiormente impiegate per l'emissione secondaria sono costituite da una lega di argento più il 2% di magnesio che fornisce un coefficiente di emissione secondaria $\delta = 4$ per un valore di tensione acceleratrice di 120 V ed una lega di rame più il 2% di berillio che fornisce lo stesso valore di coefficiente $\delta = 4$ con un valore di tensione acceleratrice di 180 V.

La fig. 185 mostra la curva di variazione del coefficiente di emissione secondaria della lega argento-magnesio in funzione dell'energia degli elettroni primari.

Struttura e principio di funzionamento di un fotomoltiplicatore.

Un fotomoltiplicatore ad emissione secondaria è costituito, come mostra la fig. 186, da un fotocatodo, da un concentratore elettronico di

entrata, da un moltiplicatore costituito da una serie di anodi per l'emissione secondaria, detti dinodi, convenientemente polarizzati e da un anodo.

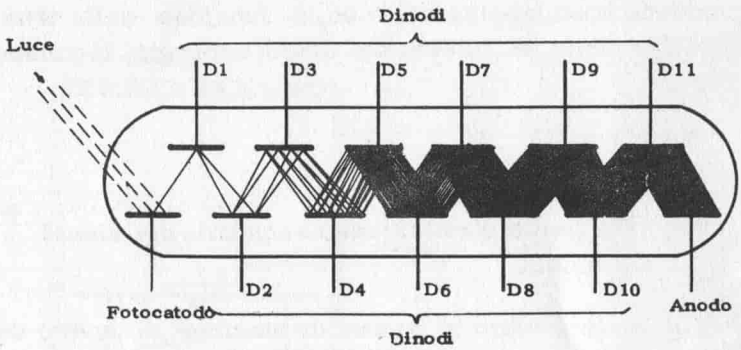


Fig. 186

Se un flusso luminoso colpisce il fotocatodo, questo emette N elettroni che vengono convogliati, mediante un sistema elettronico, sul primo dinodo. Se il coefficiente di èmissione secondaria di questo dinodo è δ_1, il numero di elettroni secondari emessi sotto l'influenza di N elettroni primari sarà $N\,\delta_1$.

Questi $N\,\delta_1$ elettróni vengono a loro volta diretti sul secondo dinodo che, avendo un coefficiente di emissione secondaria δ_2, emetterà a sua volta $N\,\delta_1\delta_2$ elettroni. Quest'ultimi si dirigeranno verso il terzo dinodo, con coefficiente di emissione secondaria δ_3, che a sua volta emetterà $N\delta_1\delta_2\delta_3$ elettroni.

In questa maniera gli elettroni passano da un dinodo all'altro ed il loro numero, ad ogni urto, viene moltiplicato per il coefficiente di emissione secondaria del dinodo corrispondente. Se il tubo possiede n dinodi successivi, il numero di elettroni emessi dall'ennesimo dinodo sarà

$$N\,\delta_1\delta_2\delta_3 \ldots \delta_n$$

Questi elettroni vengono alla fine raccolti dall'anodo.

In pratica non si tiene conto dei singoli coefficienti di emissione secondaria $\delta_1 \delta_2 \delta_3 \ldots \delta_n$ ma di un coefficiente di emissione secondaria medio δ. In queste condizioni all'anodo arriveranno N δ^n elettroni.

Il guadagno complessivo del tubo, in funzione della tensione di alimentazione dipenderà dal numero dei dinodi impiegati. Il guadagno del tubo sarà dato da:

$$G = \delta^n$$

ove: δ = coefficiente medio d'emissione secondaria dei dinodi;
n = numero dei dinodi.

Ammettendo che, entro la gamma di tensione di lavoro del tubo, il coefficiente di emissione secondaria, δ sia proporzionale alla tensione interdinodica V_0, si può scrivere:

$$\delta = K V_0$$

con K costante.

Il guadagno pertanto risulta:

$$G = (K V_0)^n$$

In realtà il guadagno è un po' minore di G a causa della dispersione di una parte di elettroni lungo il tragitto e a causa della carica spaziale che si verifica negli ultimi stadi. Quest'ultima causa richiede un aumento di V_0.

Con un coefficiente $\delta = 4$ e con un numero di 10 dinodi si può ottenere agevolmente un guadagno di:

$$G = 4^{10} \cong 10^6$$

Il fotocatodo.

Il fotocatodo comunemente utilizzato nei fotomoltiplicatori è del tipo semitrasparente. In questa disposizione, come risulta dalla fig. 187,

nessun elettrodo si trova lungo la traiettoria del raggio incidente, inoltre la sorgente luminosa può essere applicata sulla superfice piana del fotocatodo sfruttando così un angolo solido di 2π radianti, molto utile quando

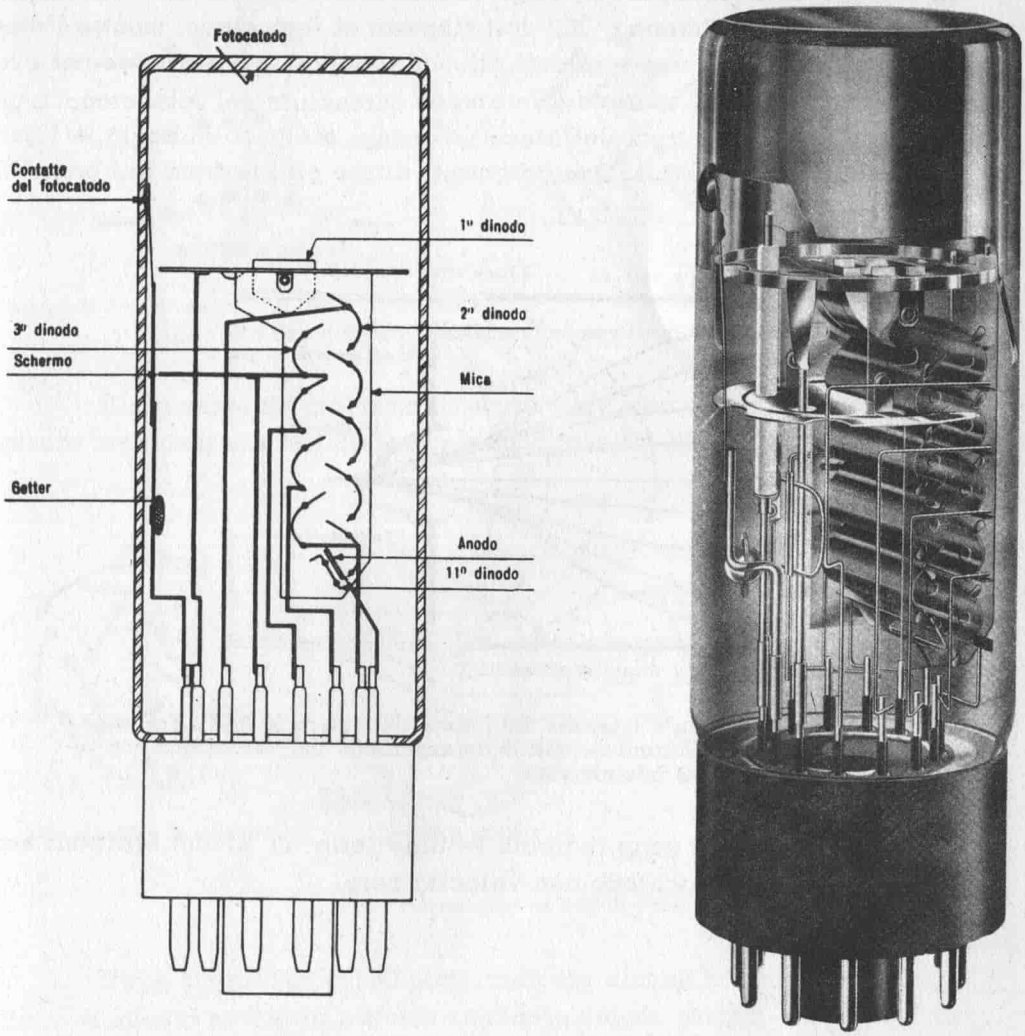


Fig 187 - Disposizione dei vari elementi di un fotomoltiplicatore.

la sorgente è di debole intensità. Il materiale fotoemissivo utilizzato, viene scelto come nelle cellule fotoelettroniche, in funzione della regione di sensibilità richiesta.

Il concentratore elettronico di entrata.

Il concentratore elettronico di entrata è costituito, come mostra la fig. 188 dall'elettrodo A, detto acceleratore, portato allo stesso potenziale del primo dinodo, 200 volt rispetto al fotocatodo, mentre l'elettrodo B, formato da uno strato di alluminio depositato sul vetro per evaporazione catodica, si trova allo stesso potenziale del fotocatodo. L'insieme di questi elettrodi definisce un campo elettrico indicato in figura con linee equipotenziali. Questo campo dirige gli elettroni sul primo dinodo.

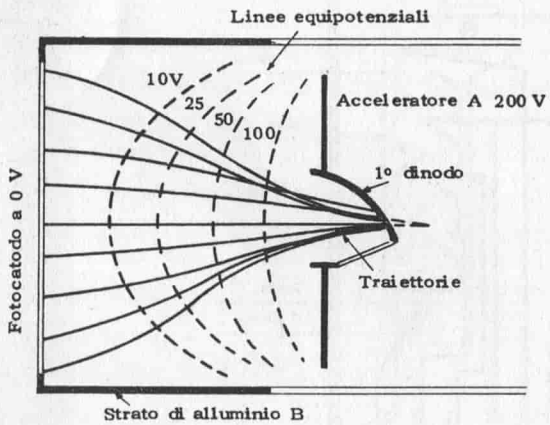


Fig. 188 - Ottica d' ingresso del fotomoltiplicatore 50 AVP. Traiettorie di elettroni uscenti dalla superficie del fotocatodo con velocità iniziale zero.

Nella figura sono indicate le traiettorie di alcuni elettroni supposti partiti dal fotocatodo con velocità zero.

Il moltiplicatore.

Il moltiplicatore come abbiamo accennato, è costituito da una serie di dinodi di forma opportuna tenuti a potenziale via via crescente e

disposti in modo da dirigere gli elettroni secondari emessi da uno qualunque di questi dinodi verso il successivo.

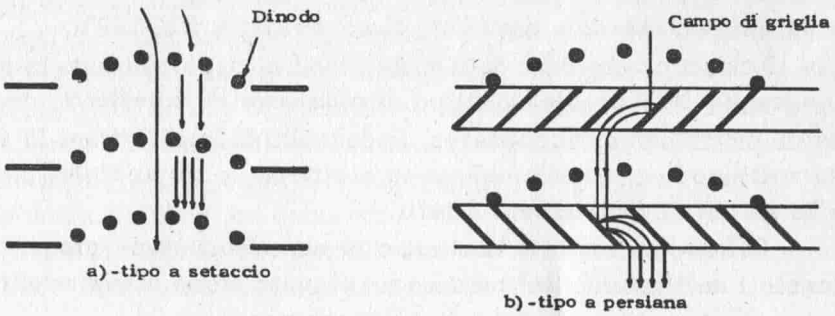


Fig. 189 - Due differenti realizzazioni di dinodi trasparenti.

Ciò investe un problema di ottica elettronica la cui soluzione può essere raggiunta sia con sistemi elettromagnetici che elettrostatici.

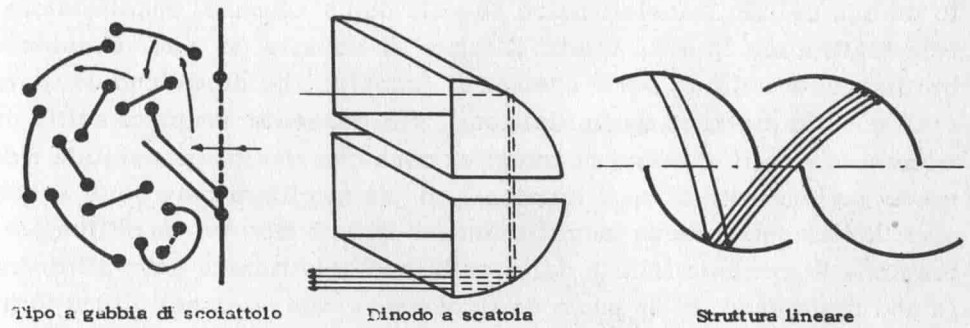


Fig. 190 - Alcuni tipi di dinodi opachi.

Nelle figure 189 e 190 sono indicate alcune soluzioni elettrostatiche di questo problema, attuate mediante dinodi trasparenti a setaccio o a persiana e dinodi opachi.

I dinodi trasparenti a setaccio, fig. 189 a, sono ovviamente trasparenti agli elettroni secondari ma lasciano passare direttamente qualche elettrone primario che non produce pertanto emissione secondaria.

I dinodi a persiana costituiscono un miglioramento rispetto ai precedenti, essi infatti risultano opachi per gli elettroni veloci provenienti dal dinodo precedente, ma trasparenti per gli elettroni lenti generati sul dinodo stesso e destinati al successivo, fig. 189 b.

I dinodi opachi, sono detti anche dinodi di tipo focalizzato in quanto con essi viene risolto il problema ottico di obbligare le traiettorie degli elettroni da un dinodo al successivo, impedendo ai fotoelettroni la via diretta sull'anodo o, comunque, su un elettrodo a potenziale più alto di quello su cui devono essere diretti.

Offrono pertanto il vantaggio di una ripartizione progressiva dei potenziali nell'interno del tubo ed un elevato grado di isolamento fra catodo ed anodo, ciò evita fenomeni di reazione.

Proprietà ed applicazioni di fotomoltiplicatori.

Il fotomoltiplicatore elettronico presenta diversi vantaggi rispetto ad una cellula fotoelettronica seguita da un comune amplificatore a tubi elettronici. In esso infatti il tempo di transito si può considerare praticamente nullo (a parte i tempi di transito che dipendono dai potenziali e dalla distanza degli elettrodi), ciò consente tempi di salita praticamente ridotti ai tempi di transito, cosa che risulta impossibile ricorrendo, per l'aumento di amplificazione, ad un amplificatore a stadi successivi. Inoltre essendo un amplificatore di questo tipo un amplificatore di tensione la corrente fornita dalla cellula fotoelettronica deve attraversare una resistenza R in modo da ricavare ai capi di quest'ultima la tensione V = RI da amplificare.

Questa resistenza però è sede di rumore di fondo, dovuto all'agitazione termica, la cui entità si ricava dalla formula:

$$e = \sqrt{4RKT\Delta f}$$

ove: K è la costante di Boltzmann (di $1{,}38 \cdot 10^{16}$ erg$\cdot K^{-1}$).

T è la temperatura assoluta.

Δf è la larghezza della banda di frequenza che si desidera amplificare.

Ciò non si verifica in un fotomoltiplicatore essendo questo dispositivo un amplificatore di corrente.

Il fotomoltiplicatore però non è del tutto esente da rumore di fondo, infatti in esso il rumore di fondo generato dal fotocatodo viene amplificato nella stessa misura del segnale utile ed in più a questo si sovrappone il rumore dovuto ai vari dinodi, tuttavia questo rumore è sempre inferiore a quello che si riscontra in un normale amplificatore per le cause suddette. Il rumore di emissione catodica infatti dipende soltanto dal valore medio della corrente di placca che è sostanzialmente indipendente dall'ampiezza del segnale.

L'amplificazione per moltiplicazione elettronica risulta pertanto indicata in tutti quei casi ove si richiede l'amplificazione di segnali molto deboli.

I fotomoltiplicatori trovano larga applicazione in strumenti di misura di intensità luminose, in spettroscopia, nei contatori per scintillazione, nella riproduzione di film con il sistema Flying-spot ecc.

*

CAPITOLO VII

TUBI DI RIPRESA PER TELEVISIONE.

I tubi di ripresa per televisione hanno il compito di trasformare un'immagine luminosa in corrente elettrica, mediante un'analisi elettronica dei vari punti dell'immagine, la cui intensità varia in funzione dell'intensità luminosa di ciascun punto esplorato successivamente uno dopo l'altro.

VII.1 - Il dissettore.

Il dissettore è il primo tubo di ripresa per televisione ad esplorazione elettronica che ha sostituito, nella ripresa di immagini televisive, il disco di Nipkow ad esplorazione meccanica.

Esso è costituito, come mostra la fig. 191, da un fotocato, da una bobina di focalizzazione, da due sistemi di deflessione magnetica, uno verticale e l'altro orizzontale, da un moltiplicatore elettronico e da un sistema ottico per la focalizzazione dell'immagine sul fotocatodo.

L'immagine ottica formata sul fotocatodo provoca l'emissione di elettroni da parte del fotocatodo in funzione dell'intensità luminosa. Gli elettroni emessi vengono allontanati continuamente dal fotocatodo ed at-

tirati verso l'anodo che ricopre buona parte della superficie cilindrica interna del tubo da parte opposta al fotocatodo. Fra anodo e catodo si viene quindi a formare istante per istante un'immagine elettronica che potrà risultare a fuoco in ogni piano distante dal catodo un numero intero di passi di traiettorie elicoidali degli elettroni, grazie al campo magnetico uniforme di focalizzazione avente direzione longitudinale. Il segnale raccolto è costituito da quei soli elettroni che, passando attraverso la piccola finestra di entrata del fotomoltiplicatore, posto da parte opposta al fotocatodo, raggiungono dopo successive moltiplicazioni per emissione secondaria l'elettrodo collettore collegato al potenziale anodico attraverso la resistenza di uscita.

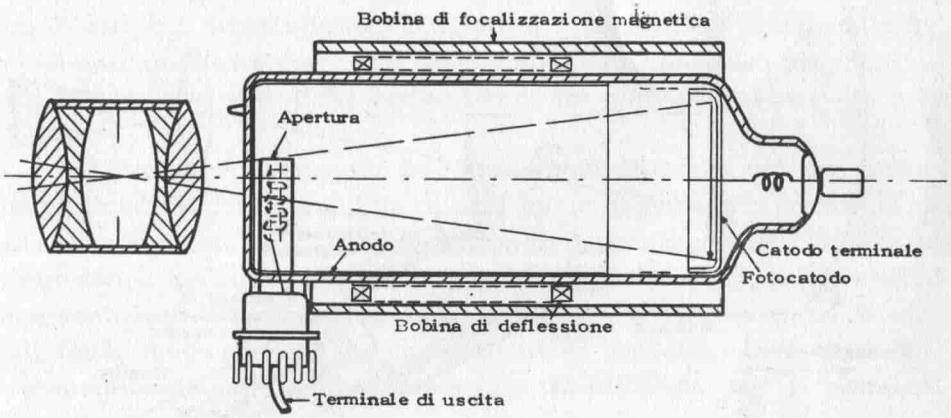


Fig. 191 - Disposizione strutturale del dissettore.

Se applichiamo ora ai due sistemi magnetici di deflessione due opportuni segnali a dente di sega otterremo lo spostamento alternativo dell'immagine davanti alla finestra del fotomoltiplicatore. Potremo così esplorare successivamente i diversi elementi di immagine.

La sensibilità di un tubo da ripresa di questo tipo è molto ridotta perché l'emissione del fotocatodo è utilizzata solo per il brevissimo tempo nel quale l'elemento elementare viene esplorato. Pertanto il tubo si presta per la ripresa di scene fortemente illuminate.

VII.2 - L'iconoscopio.

L'iconoscopio, costruito per la prima volta nel 1933 su brevetto di Zworykin , è il primo tubo che sfrutta il principio dell'accumulazione delle cariche emesse dal fotocatodo. Queste cariche vengono poi lette per mezzo di un pennello elettronico che esplora l'immagine elettronica per righe orizzontali secondo lo standard televisivo.

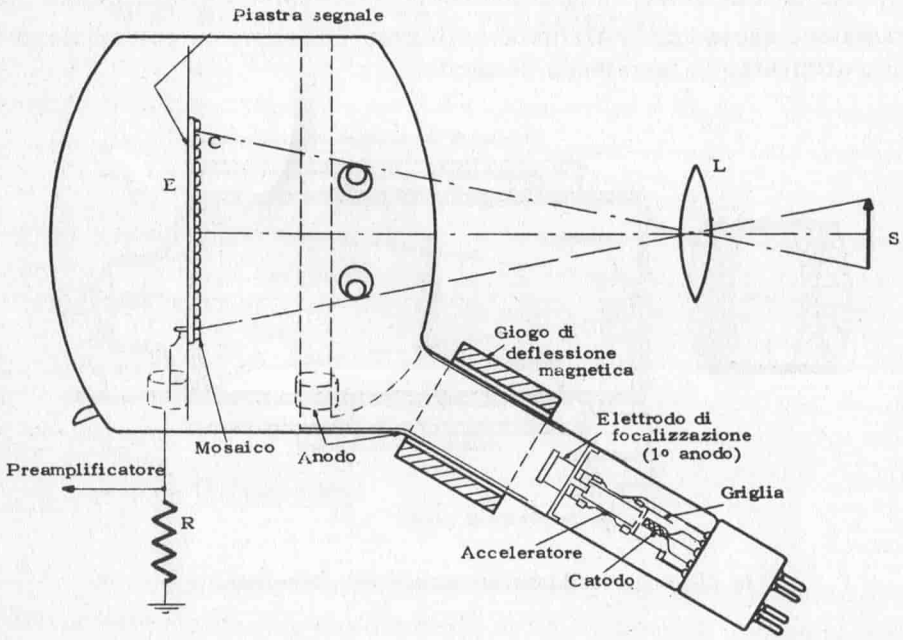


Fig. 192 - Disposizione strutturale dell' iconoscopio.

Gli elementi principali che costituiscono l'iconoscopio sono, come mostra la fig. 192, il mosaico, la piastra segnale, l'anodo, il cannone elettronico, il sistema magnetico di deflessione del fascetto elettronico ed il sistema ottico di focalizzazione dell'immagine sul mosaico.

L'involucro di vetro, di forma opportuna, porta saldato un lungo braccio pure di vetro contenente il cannone elettronico. L'angolo formato

dall'asse ottico dell'iconoscopio e l'asse del cannone elettronico è di circa 30°, ciò allo scopo di evitare evidenti interferenze tra i complessi ottico ed elettronico del tubo. La costruzione del cannone elettronico dell'iconoscopio, per quanto riguarda l'emissione del fascetto elettronico, la concentrazione e la deviazione, è del tutto simile a quello di un normale tubo a raggi catodici.

La differenza sostanziale tra i due tubi sta invece nell'elettrodo fotosensibile, detto mosaico, che nell'iconoscopio sostituisce lo schermo fluorescente del tubo a raggi catodici.

Il mosaico è l'elemento essenziale dell'iconoscopio. Esso differisce dai comuni fotocatodi perché risulta costituito da un elevato numero di elementi fotoelettronici indipendenti, isolati trasversalmente fra loro ed uniformemente distribuiti su un sottilissimo foglio di mica avente lo spessore di qualche centesimo di mm e le dimensioni di 9 × × 12 cm.

Il fotocatodo a mosaico ha il vantaggio di fornire un'immagine elettrica in cui la carica positiva di ogni punto rappresenta la corrispondente illuminazione dell'immagine ottica su di essa proiettata. Ciò non si ottiene con il fotocatodo continuo poiché su questo l'immagine elettrica viene continuamente cancellata dalla conduttività trasversa del fotocatodo, dando luogo così ad una carica positiva, uniformemente distribuita, proporzionale all'illuminazione media moltiplicata per il tempo di esposizione.

Il fotocatodo a mosaico si può ottenere lasciando deporre su un supporto isolante una polvere impalpabile di ossido d'argento. Riducendo questa polvere sotto vuoto si ottengono tante piccolissime goccioline d'argento meccanicamente indipendenti fra loro.

Il mosaico di argento così ottenuto subisce le stesse operazioni già descritte, per la formazione dei fotocatodi continui.

Le dimensioni dei granuli fotosensibili sono dell'ordine del micron e pertanto molto piccoli (fig. 193) rispetto al diametro del fascetto elettronico esplorante che è dell'ordine del decimo di millimetro.

La sensibilità del mosaico considerato come un fotocatodo risulta inferiore di circa 1/3 rispetto ad un fotocatodo continuo a causa del fattore di riempimento.

La superficie posteriore del foglio sottilissimo di mica che porta la struttura del mosaico, costituisce, opportunamente metallizzata lo elettrodo di raccolta del segnale. Questo elettrodo forma con ogni elemento sensibile del mosaico un microscopico condensatore che in assenza di carica assume lo stesso potenziale dell'elettrodo di raccolta mentre se l'elemento sensibile viene esposto per un tempo determinato ad una illuminazione costante, l'emissione elettronica, proporzionale all'esposizione, corrisponde all'acquisto di una carica positiva e quindi il potenziale dell'elemento sensibile si innalza rispetto a quello della piastra di base in funzione della carica acquistata divisa per la capacità del condensatore elementare.

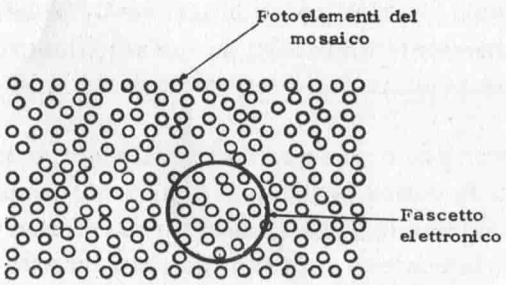


Fig. 193 - Particolare del mosaico dell'iconoscopio fortemente ingrandito.

Sulla faccia posteriore del supporto isolante, cioè sulla faccia anteriore della piastra metallica, sarà pertanto presente in ogni istante una carica negativa pari alla somma delle cariche positive acquistate da tutti gli elementi sensibili.

Per rendere possibile la lettura delle cariche, cioè dell'illuminazione, è sufficiente che la piastra posteriore E fig.192 sia collegata ad un punto a potenziale costante attraverso una resistenza R.

Se un'immagine S viene proiettata su C per mezzo dell'obbiettivo L ogni elemento di superficie sarà più o meno illuminato ed emetterà elettroni che verranno raccolti dall'anodo collettore mentre ciascun elemento del mosaico si caricherà positivamente.

La deviazione del raggio elettronico viene comandata mediante tensioni di rilassamento ad andamento tale che il raggio percorra a linee orizzontali tutta l'immagine proiettata su C, ritornando successivamente, terminato ogni ciclo, al punto di partenza, secondo l'andamento di fig. 194.

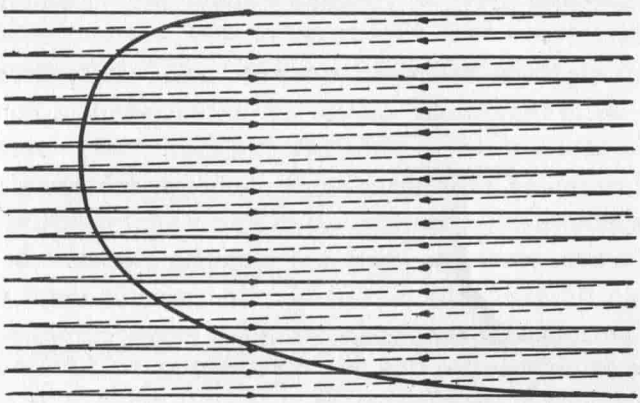


Fig. 194 - Percorso del pannello elettronico analizzatore del mosaico dell'iconoscopio.

Ogni volta che il pennello elettronico colpisce un elemento di C questo si scarica, cedendo la carica negativa assunta. La scarica avviene attraverso la piccolissima capacità esistente fra l'elemento che si scarica e la superficie collettrice, manifestandosi sotto forma di caduta di potenziale ai capi del resistore di carico R. Poiché la carica assunta da ogni elemento di C è proporzionale all'illuminamento di questo, la corrente di scarica e, quindi, la caduta di potenziale R sarà proporzionale alla carica e quindi all'illuminamento della superficie di C.

Nell'iconoscopio, a causa dell'inclinazione del cannone elettronico rispetto alla perpendicolare del mosaico, il contorno della superficie esplorata, in luogo di essere rettangolare, come appare dalla figura 194, è trapezoidale con le basi incurvate.

A questa deformazione, si dà il nome di ***distorsione trapezia***. Essa viene corretta utilizzando una tensione deviatrice a denti di sega,

la cui ampiezza è minore in corrispondenza della parte superiore della immagine e maggiore in corrispondenza della parte inferiore della stessa.

A causa dell'elevata energia posseduta dagli elettroni appartenenti al fascetto esploratore, i quali giungono sul mosaico fotosensibile con velocità molto elevata, vengono emessi dal mosaico elettroni secondari..

Tali elettroni secondari ricadono sulla superficie del mosaico, per effetto della repulsione dovuta ad un fenomeno di carica spaziale (a causa della piccola d.d.p. esistente tra collettore e mosaico) e per effetto dell'attrazione esercitata dagli elementi del mosaico, che in quel particolare momento, si trovano ad essere meno negativi degli elementi sottoposti a scansione, da parte del fascetto elettronico.

Se la ridistribuzione sulla piastra mosaico degli elettroni secondari fosse uniforme, il fenomeno suddetto provocherebbe solo una perdita uniforme di sensibilità che pur costituendo un fattore indesiderato, non sarebbe tuttavia di eccessiva gravità. Più grave è il fatto che la ridistribuzione ed il conseguente annerimento non è uniforme ma dipende dall'illuminazione del punto attuale e dei punti adiacenti.

A questo difetto si aggiunge quello di avere l'iconoscopio un rendimento assai basso, oscillante tra il 5 ed il 10%. Ciò porta a dover utilizzare sistemi ottici assai luminosi che, date le grandi dimensioni della piastra mosaico, risultano molto costosi.

VII.3 - Iconoscopio ad immagine elettronica.

L'iconoscopio ad immagine elettronica è un particolare tubo di presa per televisione derivato dall'iconoscopio, di cui possiede una sensibilità da 6 a 10 volte più elevata. Nella sua forma più semplice, esso consiste di un fotocatodo, su cui è proiettata l'immagine ottica del soggetto da trasmettere, in un sistema elettronottico destinato a focalizzare i fotoelettroni, che abbandonano il fotocatodo, su di un mosaico e in un cannone elettronico destinato a produrre un fascio di raggi catodici per l'analisi del mosaico, previa concentrazione e deviazione fig. 195.

Il fotocatodo è semitrasparente, in modo che l'immagine ottica può essere proiettata sul lato opposto a quello da cui vengono emessi i fotoelettroni.

Il sistema elettronottico può fare uso di un sistema elettromagnetico o elettrostatico o di una combinazione dei due. Quando un'immagine ottica è concentrata sul fotocatodo, quest'ultimo emette elettroni, per unità di area, in numero proporzionale all'illuminamento.

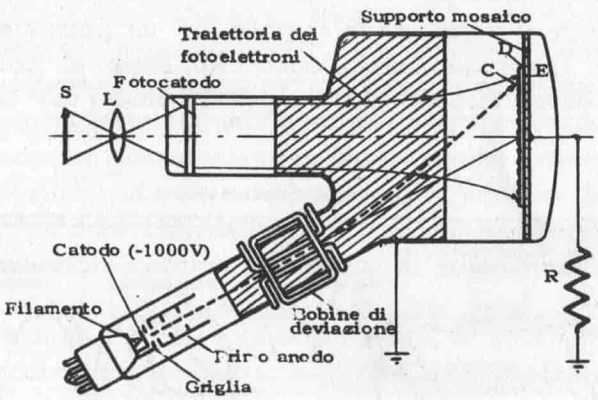


Fig. 195 - Iconoscopio ad immagine elettronica.

In tal modo, l'immagine ottica viene convertita in una distribuzione di cariche elettriche. I fotoelettroni che determinano la formazione di tale distribuzione, vengono accelerati in direzione del mosaico e focalizzati su di esso, mediante il sistema elettronottico. Con ciò, sul mosaico viene a formarsi un'immagine elettronica (copia fedele dell'immagine ottica proiettata sul fotocatodo) costituita da elettroni dotati di alta velocità. Il bombardamento del mosaico, da parte di questi elettroni, provoca l'emissione di un gran numero di elettroni secondari da parte degli elementi del mosaico e la formazione di una distribuzione di cariche elettriche sullo stesso. Il mosaico, sottoposto a scansione secondo lo stesso procedimento dell'iconoscopio, fornisce il segnale video.

L'iconoscopio ad immagine elettronica, grazie alla maggiore sensibilità ed alla maggiore profondità di campo, trova una gamma più vasta di applicazioni dell'iconoscopio.

VII.4 - Orticonoscopio.

L'orticonoscopio è un tubo da presa per televisione, studiato allo scopo di eliminare i difetti presentati dall'iconoscopio, dovuti alla forte emissione di elettroni secondari da parte della superficie del mosaico. Ciò è stato ottenuto ricorrendo alla disposizione come in figura 196. Il catodo del cannone elettronico è portato ad un potenziale di circa - 25 V, mentre il primo anodo si trova ad un potenziale di alcune centinaia di volt. Il secondo anodo, costituito, come al solito, da uno strato metallico depositato nell'interno dell'involucro del tubo, è posto a massa.

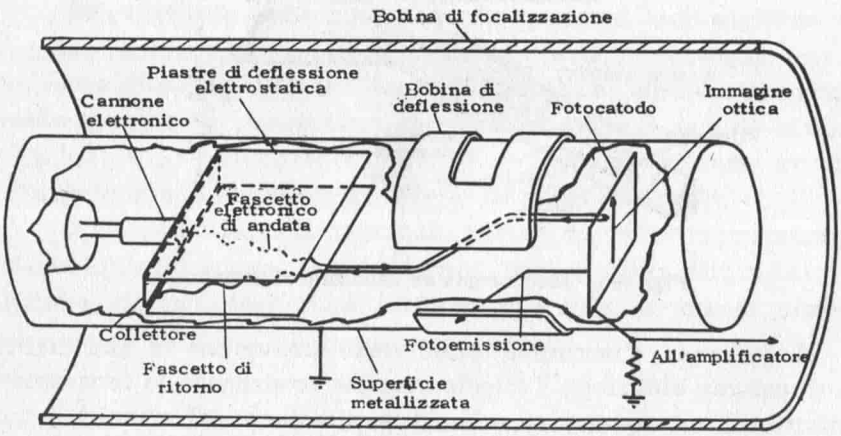


Fig. 196 - Disposizione strutturale di un orticonoscopio con deflessione orizzontale elettrostatica.

La piastra del segnale si trova anch'essa al potenziale di riferimento, mentre il mosaico è mantenuto all'incirca al potenziale di catodo, ossia a - 25 V.

La differenza sostanziale tra l'orticonoscopio e l'iconoscopio è data dal fatto che, il primo, fa uso di un fascio di raggi catodici costituito da elettroni lenti per la scansione del mosaico. Ciò porta all'eliminazione del problema dell'emissione secondaria.

Con la disposizione schematizzata in fig. 196, tutti i fotoelettroni emessi dal mosaico, allorché questo è colpito da raggi luminosi, raggiungono il collettore, in quanto la d.d.p. tra tale elettrodo ed il mosaico è sufficientemente elevata per eliminare l'effetto di carica spaziale che ha luogo invece nell'iconoscopio. Inoltre, poiché il mosaico si trova ad un potenziale approssimativamente uguale a quello del catodo, in condizioni di riposo (quando cioè il mosaico non risulta colpito da raggi luminosi), gli elettroni costituenti il fascio di raggi catodici vengono respinti dal mosaico stesso. Altrettanto avviene se la porzione di mosaico soggetta a scansione corrisponde, nel medesimo istante, ad una zona di nero assoluto dell'immagine ottica. Quando, invece la porzione di mosaico soggetta a scanzione è colpita da raggi luminosi, per effetto della fotoemissione, la porzione di mosaico interessata viene a trovarsi ad un potenziale leggermente superiore a quello cui si trova il catodo. Allora gli elettroni del fascio di raggi catodici raggiungono gli elementi del mosaico, ma con una velocità tanto bassa da non dar luogo praticamente ad emissione secondaria. Per il rimanente, il fenomeno di carica e scarica dei singoli elementi del mosaico è identico a quello che si verifica nell'iconoscopio.

A causa della bassa velocità degli elettroni appartenenti al fascio di raggi catodici, è necessario che essi giungano sul mosaico con traiettoria normale alla superficie stessa.

Ciò è ottenuto disponendo l'intero tubo in un campo magnetico assiale di focalizzazione. Solo in questo modo è possibile, tra l'altro, mantenere le dimensioni trasversali ridotte del fascio di raggi catodici anche quando la velocità degli elettroni tende a zero. La deviazione del fascio di raggi catodici nel piano orizzontale è ottenuta mediante un campo elettrico la cui azione si sovrappone a quella del campo magnetico assiale.

Il fascio di elettroni è deviato in un piano orizzontale, parallelo alle placche e l'azione di deviazione rimane limitata allo spazio compreso tra le due placche.

La deviazione è naturalmente proporzionale all'intensità del campo elettrico, al tempo di transito degli elettroni e, inversamente proporzionale, all'intensità del campo magnetico assiale. La traiettoria degli

elettroni nello spazio compreso tra le due placche, è costituita, per effetto dell'azione combinata del campo elettrico e del campo magnetico, da una serie di cicloidi, che in figura sono state notevolmente ampliate per maggiore evidenza. La deviazione verticale è, invece, ottenuta mediante una coppia di bobine disposte come in figura.

L'orticonoscopio presenta notevoli vantaggi rispetto all'iconoscopio. Essi derivano: dal fatto di essere posto l'elettrodo sensibile in prossimità di una delle pareti del tubo, ciò che consente l'impiego di lenti a breve distanza focale, mentre le minori dimensioni del mosaico riducono anche il diametro dell'obbiettivo.

Il tubo ha una definizione minore di quella dell'iconoscopio, sia per le minori dimensioni del mosaico, sia perché è difficile ottenere con elettroni lenti un fascetto di sezione molto piccola.

La sensibilità di questo tubo è dell'ordine di $2 \div 5\,mV$ per millilumen e per cm^2 di mosaico; esso si presta bene per illuminazioni medie e alte ed ha un comportamento notevolmente lineare.

VII.5 - Orticonoscopio ad immagine elettronica.

Un tubo da ripresa oggi universalmente usato è l'orticonoscopio ad immagine. Esso rappresenta lo stadio più perfezionato nel campo dei tubi da ripresa delle immagini televisive soprattutto dal punto di vista della sensibilità, mentre dal punto di vista della definizione esso è tuttora superato dall'iconoscopio e dall'iconoscopio ad immagine che si usano talvolta quando il problema della sensibilità non è essenziale.

L'orticonoscopio ad immagine, schematicamente rappresentato in fig. 197, è un tubo ad elettroni lenti che fa uso sia della moltiplicazione di immagine che dalla moltiplicazione di segnale.

L'immagine ottica è formata su un fotocatodo semitrasparente, di tipo continuo.

L'immagine elettronica che ne risulta viene accelerata e focalizzata, per mezzo di un campo longitudinale, su una piastrina di vetro detta piastra bersaglio.

La disposizione generale degli elettrodi e dei relativi potenziali è tale che la piastrina di vetro ed il catodo risultano praticamente allo stesso potenziale.

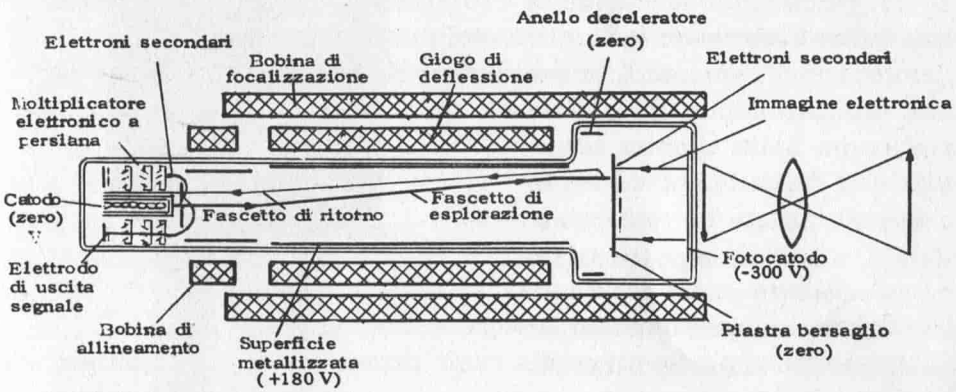


Fig. 197 - Disposizione schematica di un orticonoscopio ad immagine elettronica.

L'immagine elettronica, accelerata sotto la differenza di potenziale di qualche centinaio di volt, esistente fra il fotocatodo e la piastra bersaglio, determina l'emissione secondaria della piastra, sulla cui faccia anteriore si forma una immagine elettronica positiva che, rispetto all'immagine ottenibile su un mosaico, presenta un aumento di costrasto dell'ordine di 5, per la maggiore sensibilità del fotocatodo continuo e per la moltiplicazione secondaria.

Gli elettroni secondari emessi dalla piastra bersaglio vengono assorbiti da una reticella metallica sottilissima, costituita da 40 fili per mm lineare, disposta sul tragitto dell'immagine elettronica a pochi centesimi di millimetro dalla piastra bersaglio e polarizzata rispetto a questa a + 1 volt.

L'immagine elettronica positiva formatasi sulla faccia anteriore della piastra bersaglio deve potersi trasferire sulla faccia posteriore in un periodo di scansione di quadro.

Affinché ciò sia possibile è necessario che la piastra sia di spessore estremamente sottile, circa 3 ÷ 5 micron, abbia un valore di resistività relativamente bassa nel senso normale al piano e sufficiente-

temente alta nel senso parallelo tanto da evitare il livellamento dell'immagine.

Un fascetto elettronico lento, focalizzato da una lente magnetica lunga e deflesso magneticamente, esplora, come nell'orticonoscopio, la faccia posteriore della piastra bersaglio e vi deposita una carica di elettroni uguale in valore assoluto, alla carica positiva del corrispondente punto della faccia anteriore; questi elettroni compensano sulla sottilissima piastrina di vetro le cariche positive dell'immagine elettronica formatasi per emissione secondaria. Il fascetto elettronico, nel percorso di ritorno, trasporta un segnale identico, a parte il segno, al segnale visivo presente, istante per istante, nel punto esplorato; esso retrocede verso l'anodo seguendo la traiettoria di andata fino ad incidere sul primo dinodo del moltiplicatore elettronico con una velocità pari a quella di partenza.

I successivi dinodi del tipo a persiana provocano infine una moltiplicazione del segnale di circa 500.

L'articonoscopio ad immagine elettronica è partico-

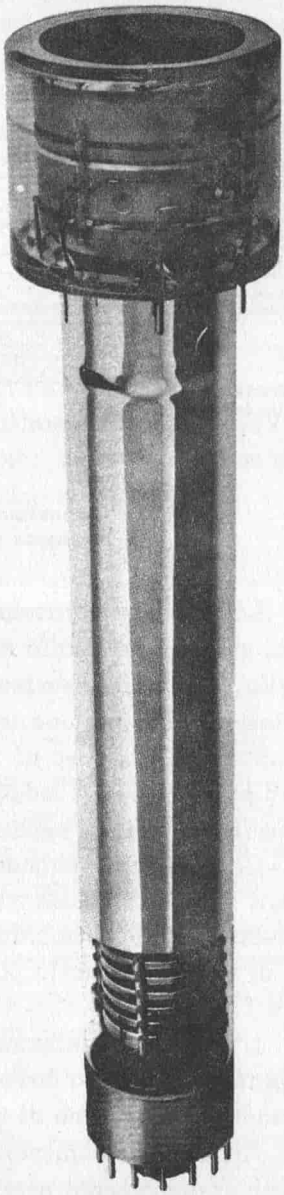


Fig. 198

larmente adatto per la ripresa di scene poco illuminate data la sua elevata sensibilità, Questa caratteristica permette inoltre di disporre, quando l'illuminazione è esuberante, di una forte profondità focale, diaframmando opportunamente l'obbiettivo di ripresa.

La fig. 198 mostra la fotografia di un orticonoscopio ad immagine elettronica tipo 5820 di costruzione Philips.

VII.6 - Il vidicon.

Il vidicon è un tubo da ripresa televisiva in cui l'esplorazione ad elettroni lenti ed ortogonali viene effettuata su una piastrina fotoconduttrice trasparente.

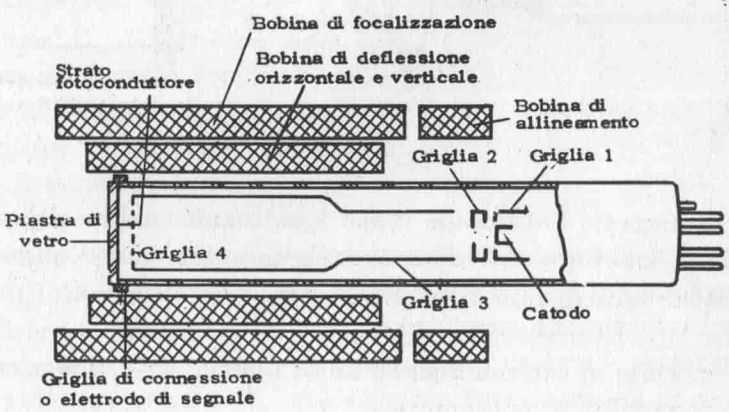


Fig. 199

Il vidicon la cui disposizione strutturale è mostrata in fig. 199 può essere considerato suddiviso in tre sezioni: il cannone per la produzione del fascetto elettronico, il sistema di focalizzazione e di deflessione e l'elemento fotoconduttore.

Il cannone elettronico è costituito da un catodo ad emissione termoionica, dalla griglia g_1 che controlla l'intensità del fascetto elettronico e dell'anodo acceleratore g_2 che ha il compito di rendere sottile il fascetto elettronico.

Il sistema di focalizzazione e di deflessione è costituito da un anodo cilindrico g_3, dall'anodo g_4 pure cilindrico e provvisto di una sottilissima rete, avente circa 40 fili per mm per rendere uniforme il campo all'estremo anteriore dell'anodo g_3; da una bobina cilindrica di focalizzazione; da una bobina di allineamento e dalle bobine di deflessione orizzontale e verticale.

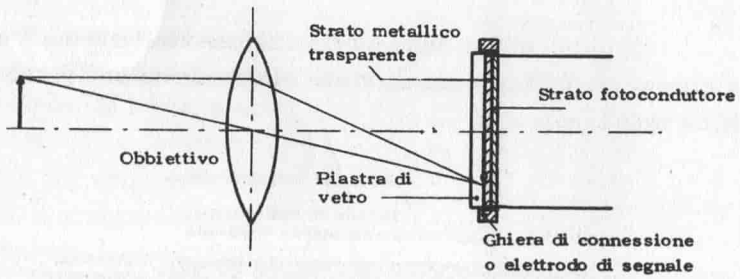


Fig. 200

Il fascetto elettronico viene focalizzato sulla superficie dello strato fotoconduttore dall'azione combinata del campo magnetico assiale, prodotto dalla bobina di focalizzazione e dal campo elettrostatico della griglia g_3. L'allineamento del fascetto elettronico con il campo magnetico assiale si ottiene agendo sulla bobina di allineamento che crea un campo magnetico trasversale.

L'elemento fotoconduttore mostrato in fig. 200 consiste di:

- una lastrina anteriore di vetro;
- uno strato metallico trasparente depositato sulla superficie interna della lastrina di vetro e collegata elettricamente alla ghiera di connessione esterna o elettrodo di segnale;
- un sottile strato di materiale fotoconduttore depositato sulla superficie metallica trasparente. Ogni elemento di materiale fotoconduttore, presen-

ta all'oscurità un valore elevato di resistenza specifica che diminuisce con l'aumentare dell'intensità luminosa che lo colpisce. Ognuno di questi elementi si può paragonare, come mostra la fig. 201 ad un condensatore C_e con in parallelo una resistenza di perdita R_{ld}, avente su un'armatura un potenziale positivo stabilito dall'elettrodo di segnale e l'altra libera.

Quando lo strato fotoconduttore viene esplorato dal fascetto elettronico la sua superficie assume all'incirca lo stesso potenziale del catodo. Si stabilisce così una differenza di potenziale fra le due facce dello strato fotoconduttore. In altre parole ogni capacità elementare C_e si carica allo stesso potenziale dell'elettrodo di segnale.

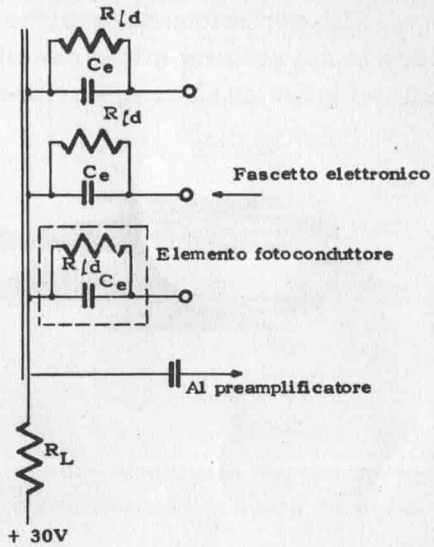


Fig. 201

Poiché all'oscurità lo strato fotoconduttore si comporta come un buon isolatore, solo una piccola parte della carica elementare assunta da ogni elemento C_e si perderà attraverso la resistenza R_{ld} fra due successive esplorazioni. La quantità di carica perduta sarà rifornita dal fascetto elettronico durante la successiva esplorazione. Questa variazione farà circolare nella resistenza R_L una corrente detta ***corrente di oscurità.***

Quando un'immagine ottica viene focalizzata sulla piastra fotoconduttore, fig. 200, ogni elemento illuminato di tale strato diventa più o meno conduttore, in funzione della quantità di luce che lo colpisce, e scarica parte della carica posseduta. Ne risulta come conseguenza sulla faccia prospicente il cannone e su tutta la superficie dello strato fotoconduttore una copia elettrica dell'immagine luminosa formata dai potenziali positivi dei diversi elementi.

Se l'immagine elettrica così formata, viene ora esplorata dal fascetto elettronico, questo depone sui singoli elementi dello strato foto-

conduttore una quantità sufficiente di elettroni, variabile da elemento a elemento, fino a ricostituire la carica originale. Questa variazione, come abbiamo detto, provoca una variazione di corrente e quindi una variazione di tensione ai capi di R_L proporzionale alla carica di ogni singolo elemento esplorato.

La variazione di tensione ai capi di R_L rappresenta il segnale video la cui polarità è tale che all'aumentare dell'illuminazione la griglia del primo amplificatore video si porta verso potenziali negativi.



Fig. 202

Il vidicon è di dimensioni molto ridotte e viene fornito con diametro di 25 mm ed una lunghezza di 160 mm.

L'ingombro limitato, la semplicità di funzionamento ed il basso costo facilitano il progetto delle telecamere e dei dispositivi ad esse inerenti. Il potere risolutivo è di 600 linee. La sua sensibilità è uguale o superiore a quella dell'orticonoscopio ad immagine, è affetto però da inerzia dovuta al fenomeno di fotoconduzione; ciò lo rende non adatto a riprese di scene in rapido movimento.

La fig. 202 mostra la fotografia di un vidicon tipo 55850 di costruzione Philips.

*

CAPITOLO VIII

AMPOLLE REGOLATRICI DI CORRENTE.

VIII.1 - Generalità.

Le ampolle regolatrici di corrente sono impiegate per ridurre al minimo le fluttuazioni di corrente continua e alternata causate da variazioni della tensione di alimentazione di rete.

Se tali fluttuazioni rimangono entro limiti moderati, non influenzano il funzionamento delle apparecchiature elettroniche per le quali sono previste certe e determinate tolleranze; una volta superati detti limiti le prestazioni degli apparecchi subiscono delle variazioni che diventono intollerabili, soprattutto quando si tratta di strumenti di misura per i quali è necessaria un'alimentazione il più possibile costante.

Le ampolle regolatrici di corrente si basano, per il funzionamento, sulla caratteristica resistenza-temperatura di alcuni metalli.

La resistenza del ferro per esempio, per una certa gamma di valori della temperatura, aumenta rapidamente con l'aumentare della temperatura stessa e viceversa.

Ne deriva pertanto che quando la corrente tende ad aumentare aumenta anche la resistenza del metallo perché contemporaneamente è aumentata la temperatura; di conseguenza il valore della corrente diminuisce.

Se racchiudiamo in un'ampolla contenente idrogeno, alla pressiosione di 100 mm di Hg, un filo di ferro, che presenta nei riguardi della

resistività un coefficiente di temperatura elevato (dell'ordine di 0,01 $°C^{-1}$) ed applichiamo all'estremità di questo filamento una d.d.p., che facciamo aumentare progressivamente da zero, notiamo che la corrente aumenta all'incirca proporzionalemente alla tensione fino al valore V_1 fig. 203; rimane pressoché costante, malgrado l'aumento della tensione, nel tratto $V_1 - V_2$; e riprende all'incirca l'andamento iniziale dopo il valore V_2.

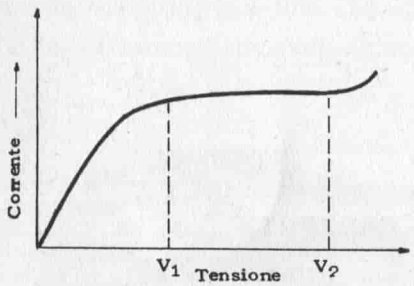


Fig. 203 - Curva di funzionamento di un'ampolla regolatrice di corrente. Nell'intervallo V_1-V_2 la corrente è quasi costante.

Fig. 204

Il tratto $V_1 - V_2$ rappresenta il campo di regolazione dell'ampolla. Il comportamento anomalo della caratteristica tensione corrente nel tratto V_1-V_2 si spiega facilmente se ricordiamo che la solubilità dell'idrogeno nel ferro aumenta bruscamente ed in modo reversibile alla temperatura di circa 900° C. Ne risulta così in detto intervallo, una diminuzione di pressione di idrogeno nell'ampolla e quindi un minor raffreddamento di filamento.

L'aumento di temperatura che ne deriva provoca come abbiamo già detto l'aumento della resistenza e quindi la limitazione della corrente.

Le ampolle regolatrici di corrente permettono la stabilizzazione di correnti comprese fra qualche centinaio di milliampere e qualche ampere. Valori di corrente più elevati possono essere ottenuti collegando più ampolle in parallelo.

La fig. 204 mostra lo schema costruttivo di un'ampolla regolatrice.

*

PARTE TERZA

CAPITOLO I

CIRCUITI PREFABBRICATI.

I.1 - Generalità.

L'esperienza di parecchi anni ed i sempre crescenti perfezionamenti della tecnica di cablaggio dei componenti elettronici consentono oggi di risolvere tutti i problemi del montaggio automatico delle apparecchiature elettroniche utilizzando la tecnica dei *circuiti prefabbricati* o così detti *circuiti stampati*. Questa tecnica che utilizza un sistema di collegamenti elettrici, ricavati su di un apposito supporto isolante, sul quale prendono posto i vari componenti, offre la possibilità di essere facilmente adattabile all'operazione meccanica ed all'assemblaggio automatico degli apparati elettronici consentendo così evidenti risultati di produzione di massa, di riduzione di costi, di accuratezza e precisione della fabbricazione di serie.

I circuiti prefabbricati consentono oggi anche la realizzazione di equipaggiamenti elettronici miniatura, favorendo la soluzione di numerosi problemi vincolati all'ingombro ridotto.

Nel procedimento convenzionale di cablaggio, i componenti elettrici sono fissati in parte su di un telaio metallico, ed in parte su speciali ancoraggi con terminali per la saldatura.

Successivamente tutti i componenti sono connessi seguendo le indicazioni del circuito elettrico, con fili conduttori. Il fissaggio mecca-

nico dei componenti è realizzato con viti, rivetti, saldature, mentre la connessione elettrica viene effettuata esclusivamente a mano con l'aiuto del saldatore. L'esperienza ha dimostrato che anche quando la disposizione dei diversi componenti è corretta, si possono verificare dei difetti nel circuito, quali accoppiamenti involontari, che si rendono palesi solo in fase di controllo del funzionamento. La rivelazione di queste disfunzioni e la relativa riparazione, si presentano difficili ed onerose. Anche la variazione di posizione e la lunghezza dei fili di connessione fra di essi e con gli elementi vicini, determinano delle diversità nella qualità degli apparecchi, che possono essere eliminate soltanto con ulteriori operazioni di taratura e di controllo supplementare.

Il circuito stampato invece, costituito da una piastrina di materiale isolante rivestito da un sottile foglio di rame, consente il fissaggio dei componenti elettrici e le loro interconnessioni senza che ci sia bisogno di conduttori supplementari. Questi ultimi sono divenuti infatti parte integrante della piastrina portante, con la conseguenza che la loro lunghezza e disposizione può essere determinata una volta per tutte. Inoltre le irregolarità in sede di fabbricazione sono ridotte a tolleranze note e calcolabili in funzione degli elementi elettrici impiegati. Il pericolo di disfunzioni dovute ad accoppiamenti indesiderati ed imprevedibili è così completamente annullato.

Inoltre il montaggio risulta semplice, pulito, poco ingombrante e con immediata possibilità di controllo; caratteristica questa assai apprezzabile in laboratorio ma, soprattutto, per il servizio di riparazione e di assistenza.

I.2 - Costituzione dei supporti per circuiti prefabbricati.

Il materiale maggiormente utilizzato per la fabbricazione dei supporti per circuiti prefabbricati è costituito da stratificati plastici ricoperti da un sottile foglio di rame su una o tutte e due le superfici.

Gli stratificati plastici sono costituiti da più strati di carta o tela, impregnati con resine sintetiche termoindurenti, accatastati e cotti

sotto pressione. Sotto l'azione concomitante della temperatura e della pressione la resina termoindurente dopo una prima fusione subisce una trasformazione chimica non reversibile che rende l'insieme omogeneo, duro, infusibile elastico e di elevata resistenza meccanica.

I fogli metallici vengono ancorati solidamente alla superficie dello stratificato per compressione sotto pressa durante l'operazione di cottura della resina termoindurente.

Esistono in commercio diversi tipi di stratificati plastici con superficie rivestina di rame per l'impiego nei circuiti stampanti. A seconda delle caratteristiche elettriche e meccaniche richieste vengono utilizzati supporti: a base di carta, tessuto di nailon, di vetro ecc. impregnati con prodotti resinoidi fenolici, melaminici, epossidici, fluorocarbonici, siliconici ecc.

Stratificati plastici fenolici: i più comuni sono quelli con supporto di carta rispondenti al grado XXXP delle norme NEMA (National Electrical Manufactures Association) e costruiti in Italia dalla Soc. Monti e Martini sotto il nome di Triemme 7783. Presentano elevate proprietà dielettriche, in special modo un minimo valore della tangente dell'angolo di perdita sia a frequenza industriale che a radiofrequenza, un assorbimento di acqua bassissimo ed una buona tranciabilità a caldo. Vengono utilizzati per la costruzione di circuiti prefabbricati per apparecchi radio, per televisori e per apparecchiature elettroniche in genere.

Stratificati plastici epossidici: questi stratificati con supporto di tessuto di vetro, rispondenti al grado di G-10 delle Norme NEMA, di cui è un tipico esempio l'Epovit 1603 della M. e M., si distinguono per la loro elevata stabilità dimensionale, alta resistenza termica e meccanica, ottimo comportamento in classe d'isolamento, «F», eccezionale resistenza di coesione e basso assorbimento d'acqua. Vengono impiegati per circuiti stampati destinati ad apparecchiature radar e, più in generale, ad apparecchiature militari, aeronautiche, di ricerca scientifica, ecc.

Una particolare proprietà dei resinoidi epossidici è costituita dalla loro buona adesione ai metalli, per cui è possibile la produzione di

stratificati rivestiti di rame senza dover impiegare adesivi di sorta. Gli stratificati epossidici resistono anche particolarmente bene all'urto termico provocato dalla saldatura ad immersione. Recentemente, anzi, è stato realizzato un tipo resistente alla fiamma, di particolare interesse per le applicazioni aeronautiche e militari in genere.

Stratificati melaminici: tra i vari tipi il più usato per circuiti stampati è quello con supporto in tessuto di vetro, rispondente al grado G-5 delle Norme NEMA, come il Melovit 1 453 della M. e M. Questo tipo di stratificato presenta una eccezionale resistenza all'arco elettrico e viene perciò usato per circuiti destinati ad apparecchi dove è richiesta tale caratteristica come negli interruttori a contatto strisciante, commutatori, deviatori, in questo caso con schema a livello.

Stratificati siliconici: viene esclusivamente impiegato il tipo con supporto in tessuto in vetro, rispondente al grado G-7 delle Norme NEMA, come il Silit 1303 della M. e M. Esso presenta la più alta idrorepellenza e la maggior resistenza termica tra tutti gli stratificati plastici. Viene perciò usato nei circuiti stampati destinati ad apparecchiature speciali da installarsi in condizioni ambientali altamente severe (unità subacque, missilistica, ecc.).

Stratificati fluorocarbonici: questi stratificati, chimicamente inerti, hanno un'elevata resistività di massa e superficiale, una anigroscopicità quasi assoluta, buona resistenza all'arco ed ottime caratteristiche generali sia ad alta che a bassa temperatura. Questo insieme di qualità positive rende gli stratificati fluoro-carbonici particolarmente indicati dal lato tecnico quali supporto di circuiti prefabbricati; per contro l'alto prezzo del prodotto ne limita l'applicazione a casi di eccezionale importanza. Per sfruttare almeno in parte le straordinarie caratteristiche di questi stratificati, sottili pellicole di fluorocarbonio unite al foglio di rame vengono applicate esternamente a stratificati di vetro-resina epossidica e carta-resina fenolica per migliorarne le proprietà elettriche superficia-

li e la resistenza all' usura. Tali sottili pellicole rivestite di rame possono essere anche usate da sole per circuiti flessibili di piccoli complessi come pure nella produzione di speciali condensatori e di elementi per schermatura.

TABELLA 6

Caratteristiche tipiche dei principali stratificati plastici ricoperti di rame.

Supporto isolante	Fattore di potenza	Resistenza saldatura (10")	Temp. max di esercizio	Adesione del rame (°)
Tipo NEMA	1 Mc max	°C	°C	kg
XXXP (carta e resina fenolica)	0,035	232	125	1,8 ÷ 5
G-10 (vetro e resina epossidica)	0,030	260	155	2,3 ÷ 7

(°) - L'adesione viene determinata dal carico (in kg) necessario per distaccare perpendicolarmente dal supporto una linguetta di rame intagliata ai bordi, della larghezza di mm. 25,4.

Proprietà caratteristica degli stratificati fluorocarbonici è quella di non richiedere l'impiego di adesivi per ottenere l'aderenza del foglio di rame allo stratificato-base.

1.3 - Metalli utilizzati per realizzare il rivestimento conduttore.

Il metallo generalmente utilizzato come rivestimento conduttore è il rame. Esso viene prodotto mediante galvanostegia su un catodo cilindrico lucido che ruota nella soluzione elettrolitica.

Lo spessore più comunemente impiegato è 0,03 mm. Si impiegano spessori maggiori, per esempio 0,07 mm per la costruzione di circuiti prefabbricati speciali con forti carichi elettrici. Il foglio metallico vie-

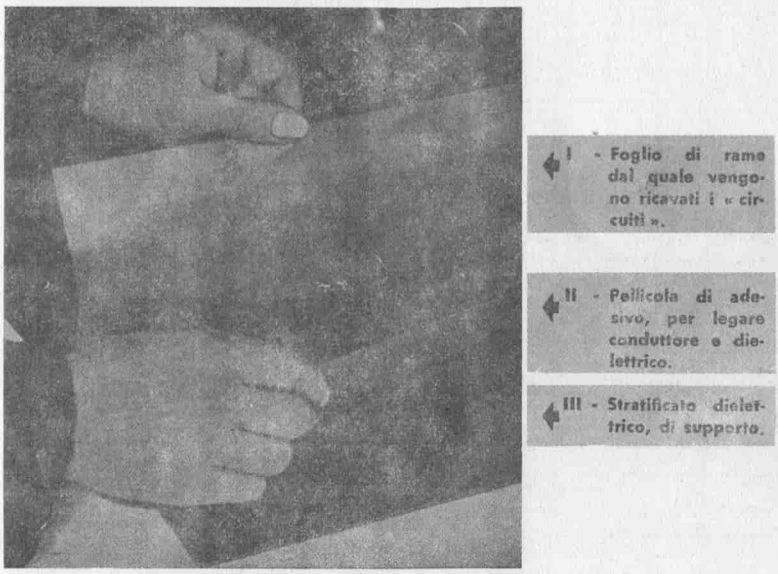


Fig. 205 - I tre componenti di uno stratificato tipico per circuiti stampati.

ne generalmente fissato al materiale stratificato isolante per mezzo di appositi adesivi costituiti da speciali miscele di resinoidi fig. 205.

Progettazione del circuito.

La prima operazione da fare è quella di disegnare lo schema del circuito prefabbricato facendo in modo da eliminare gli incroci. Realizzato lo schema si procede al dimenzionamento dei singoli conduttori in funzione dello spessore del foglio metallico del supporto base e dei diversi elementi fisico-elettrici relativi alle condizioni di funzionamen-

to di ogni connessione, quali per esempio il carico elettrico, la dispersione del calore, le distanze reciproche fra i conduttori affiancati, ecc.

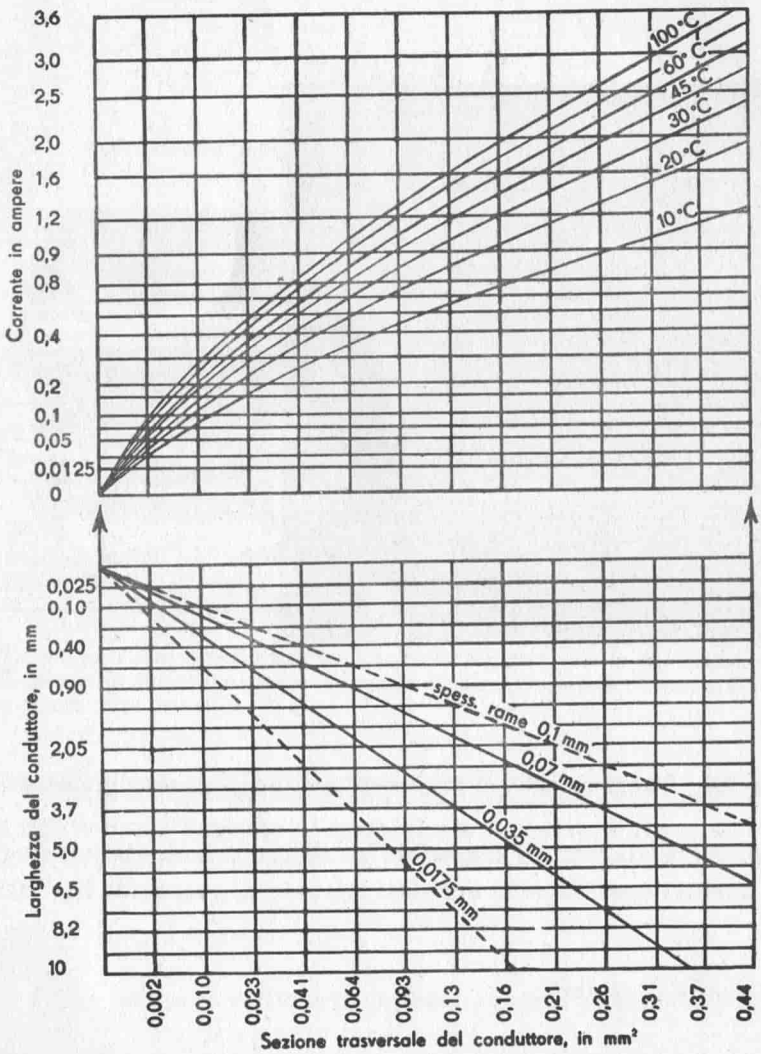


Fig. 206 - Diagramma per la determinazione della portata dei conduttori in rame, a spigoli vivi. in relazione alle sovratemperature ammesse rispetto to alla temperatura ambiente.

Il diagramma in fig. 205 fornisce la portata dei conduttori in rame a spigoli vivi in relazione alle sovratemperature ammesse rispetto alla temperatura ambiente.

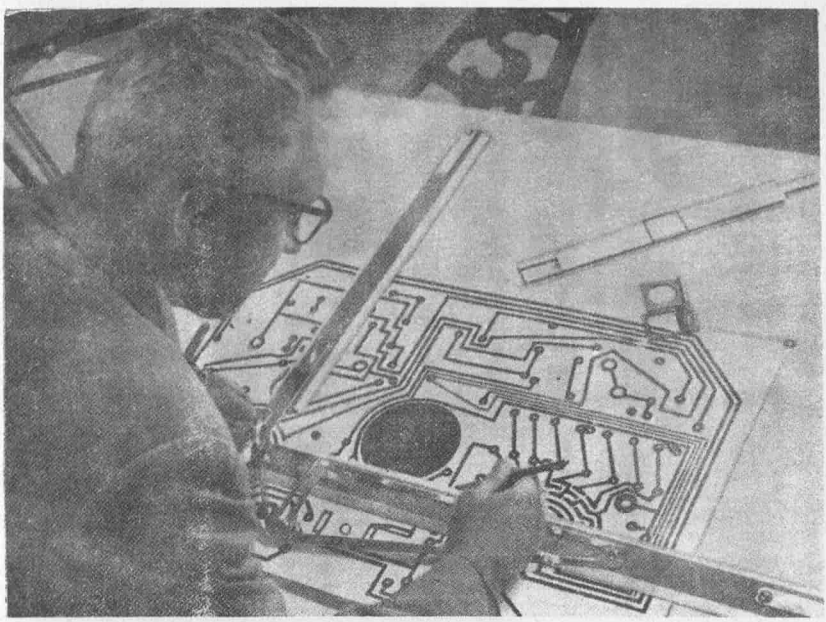


Fig 207 - Il disegno finale del circuito va eseguito in scala almeno 4 volte l'originale con inchiostro di china su un pannello indeformabile. Dall'accuratezza e precisione di questo disegno dipenderanno le tolleranze più o meno ristrette del circuito

Lo schema definitivo così definito viene disegnato fig. 207 su di un pannello bianco indeformabile con inchiostro di china o con speciali inchiostri resistenti agli acidi.

La scala del disegno deve essere almeno di 4:1 volte l'originale, questa deve essere scelta in funzione delle tolleranze richieste dal circuito e dalla capacità di riduzione della macchina fotografica figugura 207 bis usata per ricavare il negativo.

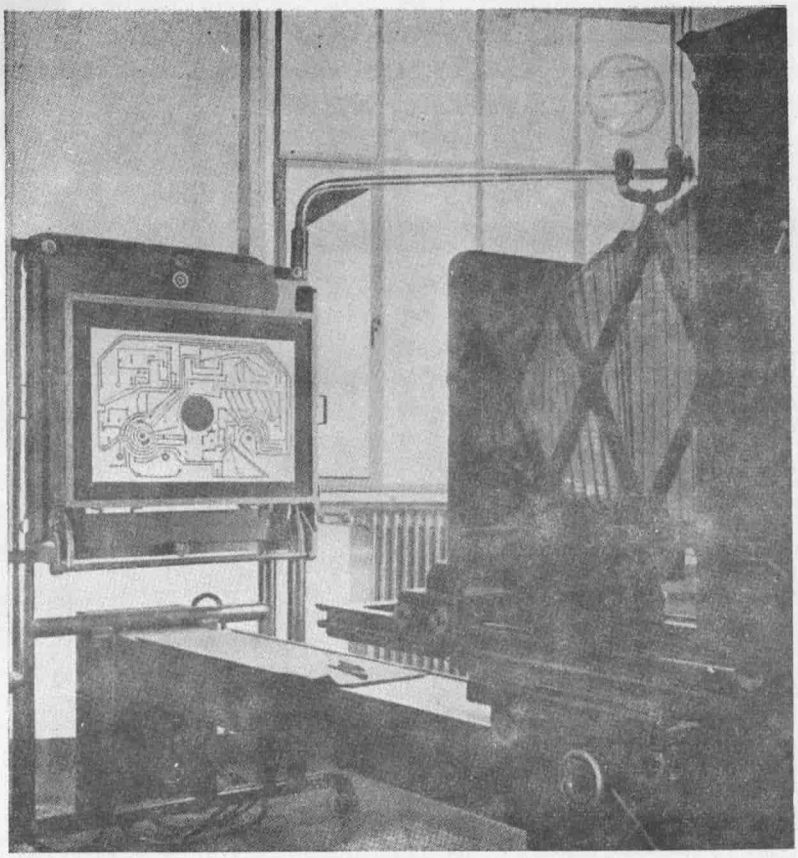


Fig. 207 bis - Riproduzione fotografica dello schema

Fabbricazione del circuito.

Il metodo d'incisione, più comunemente utilizzato per la produduzione dei circuiti prefabbricati, consiste nell'applicare sulla superficie di rame dello stratificato plastico un rivestimento, resistente agli acidi, che riproduca fedelmente lo schema elettrico desiderato.

La parte di rame in eccesso viene poi asportata con un procedimento di attacco acido.

Il rivestimento resistente viene generalmente ottenuto applicando sulla superficie di rame, accuratamente pulita, uno strato perfettamente uniforme di emulsione fotosensibile. Dopo l'essiccazione ottenuta con circolazione di aria calda o con lampade a raggi infrarossi lo strato sensibile viene impressionato per contatto, dal negativo fotografico riproducente nelle dimensioni reali lo schema elettrico che si vuole incidere, sotto l' azione della luce, prodotta da un arco voltaico e da altra sorgente ricca di raggi ultravioletti.

SCHEMA DEL PROCESSO DI INCISIONE

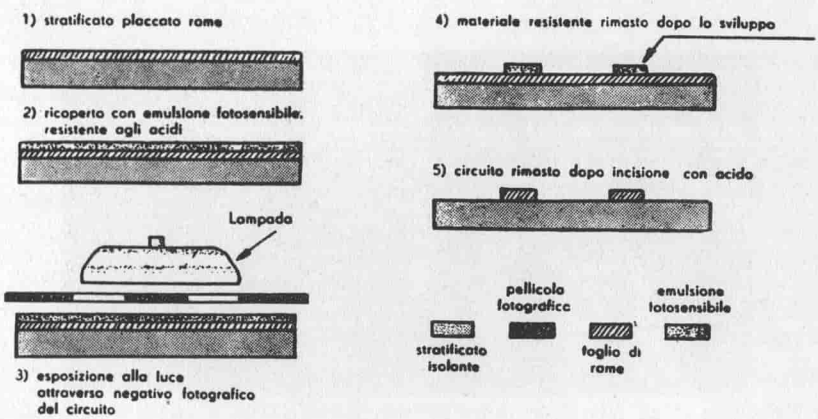
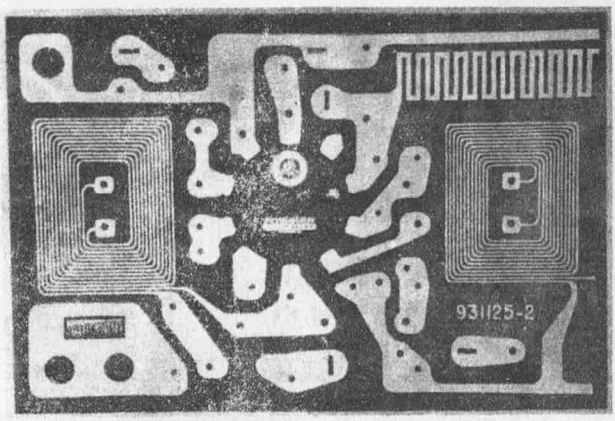
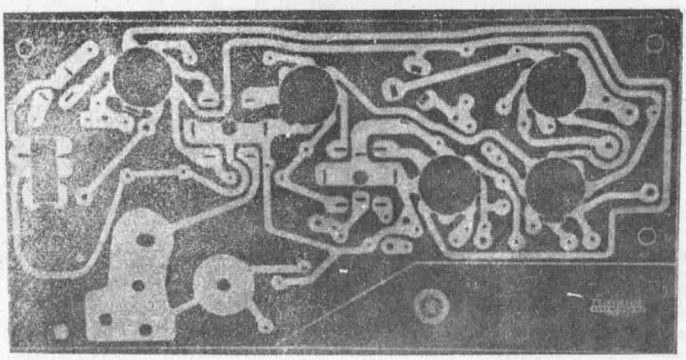


Fig. 208

Terminata l'esposizione l'emulsione viene sviluppata per immersione in un solvente che contemporaneamente elimina dalla piastra la parte di emulsione non impressionata.

La piastra di rame, dopo questa operazione, riporta riprodotto fedelmente, lo schema elettrico. Resta ora da asportare dalla piastra tutto il rame non protetto da emulsione.





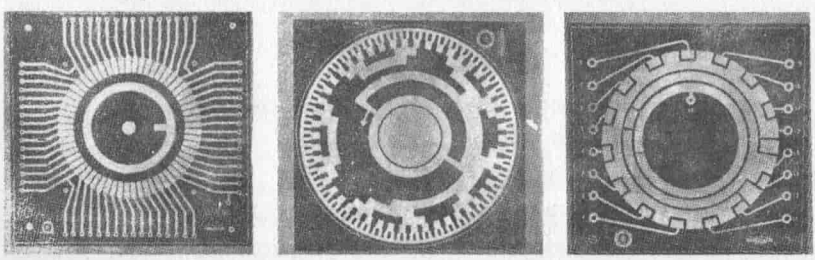


Fig. 208 bis - Esempi di circuiti stampati.

Un mezzo relativamente economico è quello di far reagire il rame con una soluzione di cloruro ferrico a 42° Beumè secondo la reazione:

$$2\,Fe\,Cl_3 + Cu \longrightarrow 2\,Fe\,Cl_2 + CuCl_2$$

Dopo questa operazione la piastra riporta per incisione lo schema elettrico richiesto.

A seconda degli usi e delle caratteristiche richieste dal circuito, il circuito conduttivo in rame può essere ricoperto, mediante operazioni galvanotecniche, con metalli come argento rodio, cadmio, ecc.

La fig. 208 riporta lo schema del processo di incisione descritto. Il rivestimento antiacido conforme allo schema conduttore desiderato, oltre al sistema già descritto, può essere riportato sulla piastra con diversi altri metodi. Fra questi i più diffusi sono il metodo della stampa per schermo ed il metodo di riproduzione xerografico.

La fig. 208 bis mostra un esempio di alcuni circuiti prefabbricati ottenuti da lastra Triemme 7783 della Monti e Martini.

Lavorazione meccanica del circuito.

La lastra di stratificato plastico con sopra incisa la parte conduttiva del circuito progettato subisce ora una serie di operazioni meccaniche, come taglio, refilatura dei contorni e foratura in corrispondenza dei vari punti prestabiliti per l'inserzione sul circuito dei vari componenti dell'apparecchiatura.

Tali componenti come: condensatori, resistori, zoccoli porta tubi elettronici, sono muniti di appositi terminali da inserire nei fori del pannello dei circuito prefabbricato.

Tali terminali risultano naturalmente in contatto con il conduttore previsto del circuito.

I contatti fra i terminali dei componenti ed i rispettivi conduttori del circuito vengono resi elettricamente perfetti mediante l'operazione di saldatura a stagno.

Questa operazione può essere effettuata con il sistema tradizionale del vecchio metodo di cablaggio, cioè saldando uno per uno tutti i punti di contatto oppure mediante saldatura contemporanea di tutti i componenti sulla piastra, fig. 209.

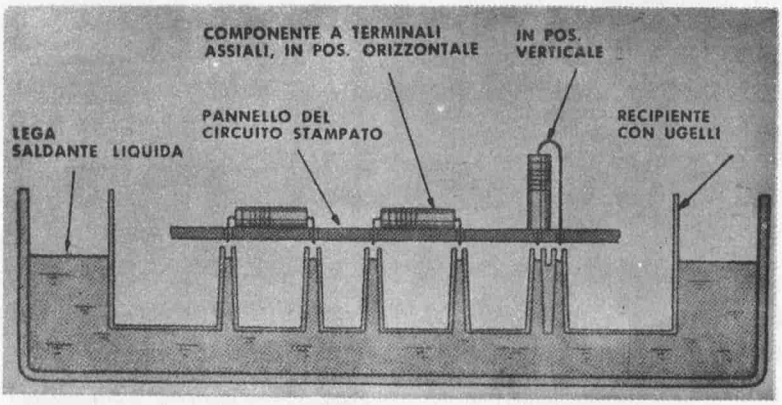


Fig. 209 - Rappresentazione schematica dell'apparecchio per la saldatura a punti: comprimendo la lega saldante liquida, questa, spruzzando dagli ugelli, investe soltanto le parti del circuito che devono essere saldate.

Indubbiamente questa operazione rapida e semplice, rappresenta una notevole economia di tempo e quindi di costo rispetto ai sistemi tradizionali di saldatura singola.

Per poter eseguire tale unica saldatura è necessario che tutti i componenti siano montati sul pannello nella loro esatta posizione. Questa operazione può essere fatta a mano o a macchina in relazione al quantitativo di pezzi in lavorazione.

Il pannello, completo di tutti i suoi componenti, viene quindi posto a contatto per brevissimo tempo con un bagno di lega saldante; tutti i contatti metallici tra i terminali dei componenti ed il circuito risulteranno, una volta estratto il pannello, perfettamente saldati fra loro.

1.4 - Componenti per circuiti prefabbricati.

I circuiti prefabbricati richiedono per un rapido montaggio la disponibilità di componenti appositamente allestiti a tale scopo. Questi generalmente possono essere distinti in:

1) - Componenti convenzionali, progettati già in origine per essere collegati tra due punti di circuiti cablati con il sistema tradizionale. Questi tipi di componenti possono essere utilizzati nei circuiti prefabbricati senza alcuna modifica.

2) - Componenti appositamente progettati o modificati per circuiti prefabbricati e quindi con terminali adatti per il montaggio.

3) - Componenti realizzati contemporaneamente al circuito e quindi già facenti parte del circuito prefabbricato.

Appartengono al primo gruppo i resistori, i condensatori, le induttanze, i transistori ecc. provvisti di conduttori terminali con possibilità di essere inseriti a mano o a macchina nei fori del circuito prefabbricato prima della saldatura.

La fig. 210 mostra i tre sistemi di montaggio di componenti con terminali assiali su un pannello di circuito prefabbricato.

Al secondo gruppo appartengono quei componenti che sono normalmente montati su telai metallici.

Questi componenti come: zoccoli per tubi elettronici, potenziometri ecc. vengono modificati dai fabbricanti per renderli adatti alle esigenze dei circuiti prefabbricati

I componenti di maggior peso come induttanze con nucleo di ferro, trasformatori ecc., vengono fissati sul pannello prefabbricato per mezzo di spinotti ad espansione in modo da renderli solidali con il pannello evitando così la possibilità di distacco durante le operazioni che precedano la saldatura.

Un tipo di componente appositamente studiato per i circuiti prefabbricati è lo zoccolo «a sandwich» formato da due dischetti di materiale isolante sovrapposti fra loro e distanziati; muniti di rigidi piedini verticali per il fissaggio come mostra la fig. 211.

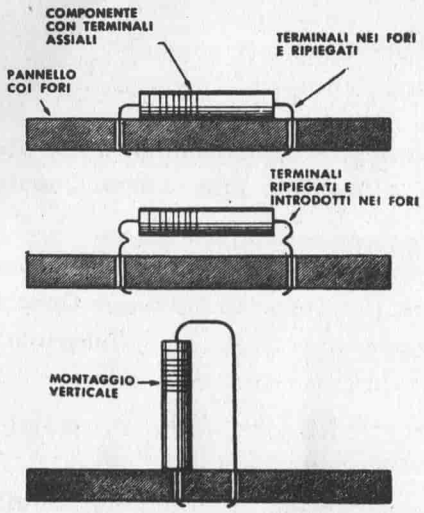


Fig. 210 - I tre sistemi di montaggi di componenti con terminali assiali su un pannello a circuito prefabbricato.

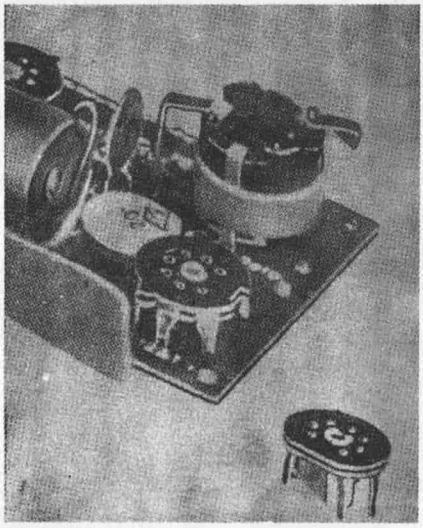


Fig. 211 - Gli zoccoli portavalvola, del tipo a «sandwich» consentono un pratico e rapido montaggio sui circuiti elettronici.

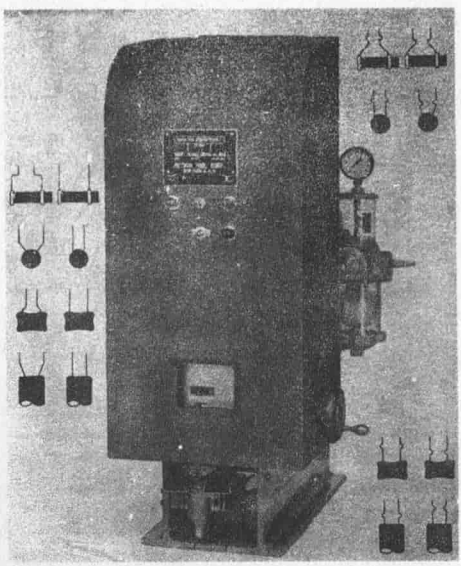


Fig. 212 - Macchina automatica per la preparazione dei componenti da inserire nei circuiti prefabbricati. Ogni macchina da elevate produzioni.

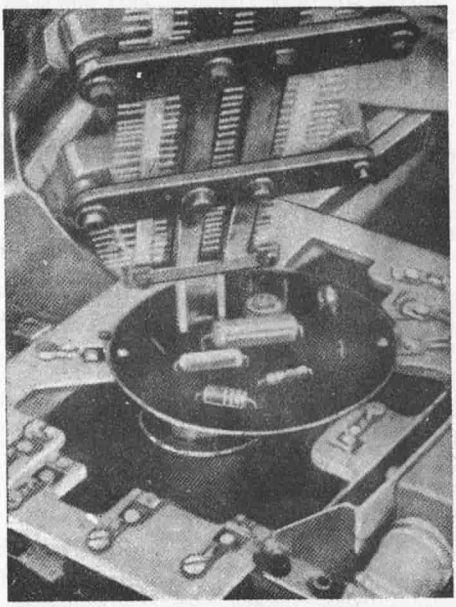


Fig. 213 - Particolare di una macchina automatica per l'inserzione di componenti con terminali assiali, nei pannelli a circuito prefabbricato.

Al terzo gruppo come abbiamo già detto appartengono i componenti direttamente stampati sul circuito. Questo sistema di costruzione dei componenti presenta diverse difficoltà pratiche, specialmente per costruzioni di piccole serie ove l'impiego di speciali macchine automatiche per l'aggiustamento ed il controllo dei valori nominali richiesti per i singoli componenti così costruiti risultano di costo proibitivo data l'esigua produzione.

Il montaggio dei singoli componenti sul pannello stampato viene effettuato per produzione di grandi serie per mezzo di macchine automatiche per la preparazione dei componenti da inserire nei circuiti prefabbricati fig. 212 e per il montaggio fig. 213 ciascuna destinata per la sistemazione in loco di un determinato componente. Con questo sistema di montaggio automatico si costruiscono oggi migliaia di pezzi completi all'ora realizzando così apparecchiature con bassi costi di lavorazione.

I collegamenti esterni del circuito prefabbricato vengono realizzati, come mostra la fig. 214 o a mezzo di morsetti a vite in bronzo fosforoso, fissati direttamente sui conduttori del circuito, o a mezzo di basette isolanti muniti di contatti a spina, saldati sui terminali del circuito come mostra la fig. 215.

La fig. 216 mostra due esempi di apparecchiature elettroniche realizzate con circuiti prefabbricati.

La fig. 217 mostra un elemento di circuito operante realizzato con circuiti prefabbricati.

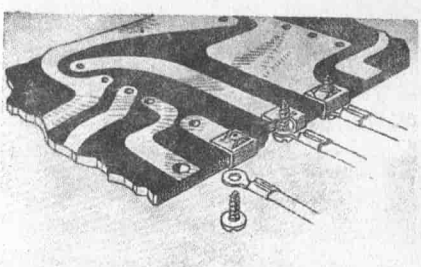


Fig. 214- Per il collegamento esterno dei circuiti stampati possono venire usati morsetti a vite in bronzo fosforoso, fissati direttamente sui conduttori del circuito.

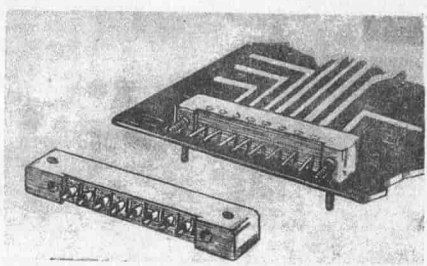


Fig. 215- Per collegamenti mobili vengono impiegate basette isolanti munite di contatti a spina, saldati sui terminali del circuito.

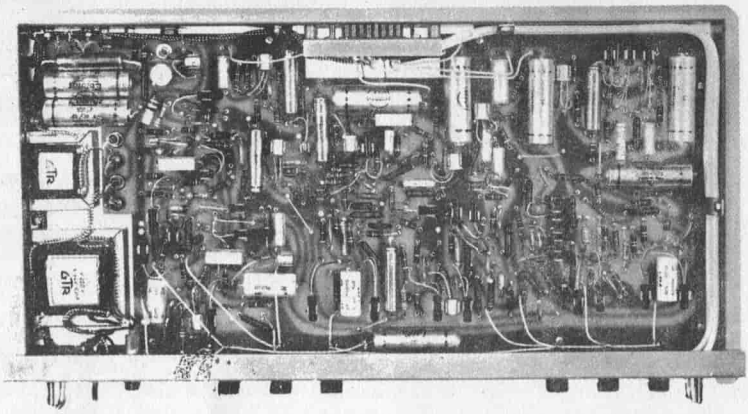


Fig. 216 a (RAI)

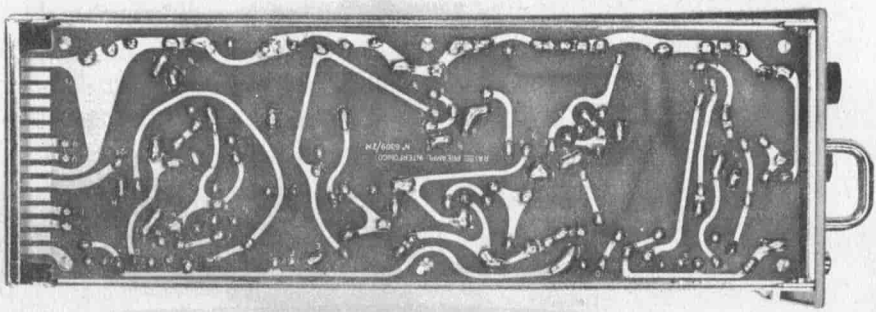


Fig. 216 b (RAI)

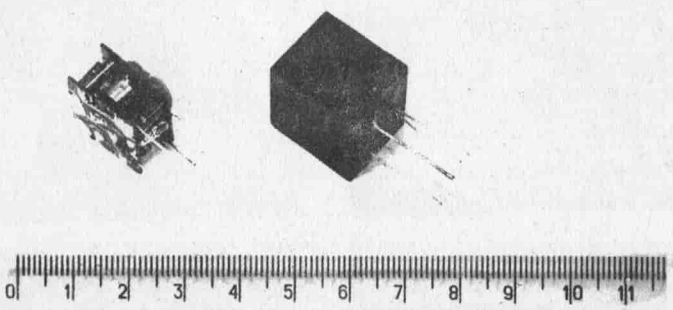


Fig. 217 (RAI)

CAPITOLO II

TECNICA DEI MICROMODULI.

II.1 - Generalità.

L'uso della tecnica dei circuiti stampati ha permesso l'introduzione della tecnica dei circuiti modulari. Secondo questa tecnica una unità modulare è costituita di una piastrina isolante quadrata di 7,6 mm di lato e di 0,25 mm di spessore, che può incorporare o sostenere la maggior parte dei componenti impiegati nei circuiti elettronici.

Questa nuova tecnica pur essendo tutt' ora nella fase iniziale di sviluppo permette già, in determinate applicazioni una riduzione di volume di circa 1 : 10 rispetto ai circuiti transistorizzati.

Il materiale generalmente impiegato per la costruzione delle unità modulari è di natura ceramica, ma vengono anche utilizzati il vetro e l'allumina. Su ciascuno dei quattro lati sono praticate tre incavature semicircolari metallizzate, alcune delle quali costituiscono i terminali dell'elemento incorporato nel micromodulo fig. 218.

I componenti elettroni impiegati sono del tipo con dimensioni unificate. Essi vengono realizzati con tecniche speciali nelle forme che brevemente riassumiamo:

Resistori – Sono costituiti generalmente da strati di metalli o da ossidi metallici, depositati sotto vuoto secondo tracciati predisposti mediante procedimenti fotografici.

Su di un micromodulo si possono depositare fino a 4 resistori distinti. I valori di resistenza possono raggiungere valori fino a 2 MΩ; i coefficienti di temperatura risultano contenuti entro limiti molto ristretti (± 30 p p m/°C); le potenze dissipabili non oltrepassano 1/2W.

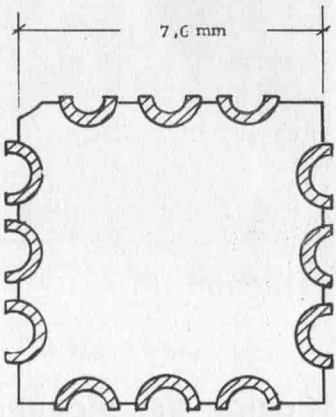


Fig. 218

Condensatori – Si impiegano principalmente quelli di tipo ceramico, nei quali il dielettrico è costituito dalla stessa piastrina del micro-modulo sulle cui facce vengono depositate le armature metalliche. Si ottengono così valori di capacità compresi fra 100 e 10.000 pF che sono utilizzati nei circuiti di accoppiamento e per la compensazione delle variazioni di temperatura. Tolleranze più ristrette si ottengono con supporti di vetro. I condensatori elettrolitici sono del tipo a tantalio sinterizzato che permettono di ottenere capacità di alcuni microfarad con tensioni fino a circa 20 Volt.

Induttori – Questi componenti si adattano molto poco per l'impiego nei micro-moduli, tuttavia è stato possibile realizzare, utilizzando ferriti ad alta permeabilità, valori di induttanza fino ad alcuni millihenry con diametri inferiori al lato del micromodulo e con spessori limitati.

Transistori – Si utilizzano generalmente transistori al germanio, sia del tipo a lega che del tipo a diffusione disposti tra due piastrine o nell'incavo praticato in una piastrina e successivamente ricoperti con resina epossilica per la protezione contro gli agenti atmosferici.

Diodi – Come per i transistori si utilizzano diodi del tipo a diffusione ermeticamente protetti contro gli agenti atmosferici. Un netto vantaggio si otterrà nel futuro con l'utilizzazione del diodo tunnel, sia per le ridotte dimensioni che per le migliori caratteristiche di funzionamento a frequenze elevate.

Altri componenti possono essere adattati alla forma modulare, come cristalli di quarzo, filtri ceramici ecc. In alcuni casi risulta particolarmente utile l'impiego di circuiti a costanti distribuite.

I micro-moduli che portano gli elementi di un circuito previsto per una funzione determinata vengono sovrapposti fra loro. I collegamenti elettrici sono realizzati con dei conduttori disposti perpendicolarmente ai moduli in corrispondenza delle incavature periferiche e saldati alle corrispondenti metallizzazioni. Il gruppo di elementi di micro-moduli così ottenuto viene munito alle estremità di due piastrine provviste soltanto di connessioni metalliche che costituiscono i terminali dell'unità circuitale fig. 219. La protezione di questo complesso contro gli agenti atmosferici viene realizzata mediante un completo rivestimento protettivo di resine epossiliche o siliconiche.

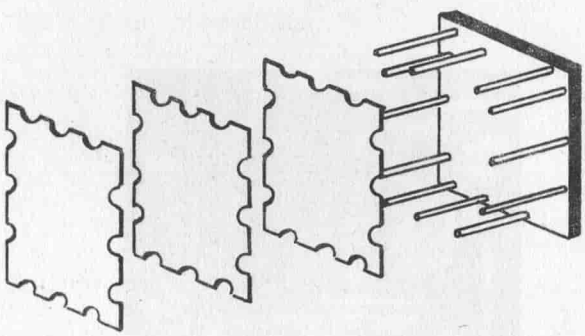


Fig. 219

Il montaggio delle unità circuitali modulari può essere realizzato con il sistema: in cascata fig. 220 a particolarmente adatta per radioricevitori e televisori; in parallelo fig. 220 b, collegate fra loro mediante un circuito stampato, adatto per circuiti contatori ed impulsivi; ed in parallelo fig. 220 c, con terminazioni su entrambi i lati per circuiti di forma complessa.

Con la tecnica dei micro-moduli è stato possibile realizzare apparecchiature elettroniche con densità fino a 12.000 parti per dm^3, corrispondenti a riduzioni di volume comprese tra 1 : 5 e 1 : 20 rispetto alle unità transistorizzate.

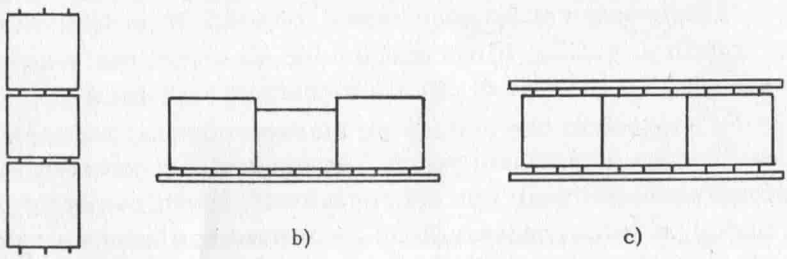


Fig. 220

Si sono oggi raggiunte densità dell'ordine di 200.000 parti per dm^3 utilizzando le grandi possibilità offerte dalle strutture solide, di cui esistono già numerosi esempi nel campo di circuiti logici.

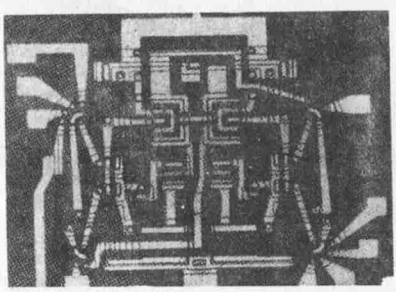


Fig. 221

All'introduzione di queste strutture nella forma modulare si è pervenuto attraverso stadi intermedi, uno dei quali è quello della deposizione di strati e del dosaggio di impurità di singoli cristalli semiconduttori per costruire elementi attivi e passivi.

La fig. 221 mostra un tipico esempio di circuito elettronico a strutture solide fortemente ingrandito.

La fig. 222 mostra un tipico esempio di circuito elettronico a strutture solide completo di conduttori terminali ed ingrandito.

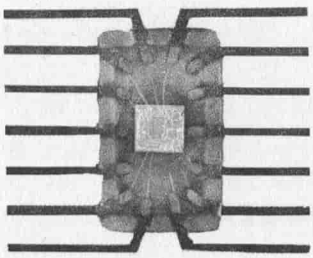


Fig. 222

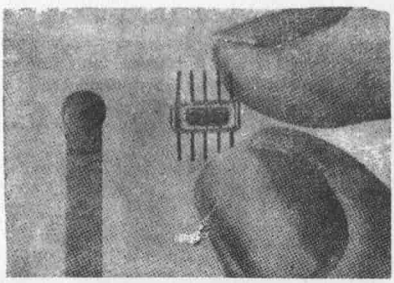


Fig. 223

La fig. 223 dà un'idea dell'ordine di grandezza del circuito confrontato con la testa di un fiammifero.

*

CAPITOLO III

LA PILA NEI CIRCUITI MINIATURIZZATI.

La tendenza alla miniaturizzazione ha subito durante gli ultimi 10 anni un notevole sviluppo attraverso le nuove e diverse applicazioni della tecnologia dei componenti elettronici.

L'apparizione dei dispositivi a semiconduttori, come i transistori, i diodi ecc., e dei circuiti stampati consentono oggi di progettare molti tipi di apparecchiature con dimensioni ridotte. Ciò richiede, specialmente nel campo delle apparecchiature portatili, fonti di energia compatte, adattabili dimensionalmente ed in grado di funzionare entro un ampio intervallo di temperatura con un elevato grado di sicurezza di funzionamento.

Per apprezzare le caratteristiche tecniche ed il grado di affidamento fornito dalle moderne pile, che rappresentano uno sviluppo considerevole dal punto di vista scientifico, è necessario considerare la composizione della pila elementare ed alcuni dei problemi di progettazione originariamente incontrati.

III.1 - La pila «elementare».

Se due metalli dissimili, sufficientemente distanti nella scala elettrochimica, sono immersi in un elettrolita (generalmente un acido, un

alcale, o un sale metallico), la più elettropositiva delle due piastre di metallo reagisce chimicamente con l'elettrolita stesso. Vengono asportati ioni positivi dalla piastra, per cui quest' ultima si carica negativamente. Gli ioni positivi, cercando di scaricarsi, muovono verso la piastra opposta, situata più in basso nella serie elettrochimica, conferendole in questo modo una carica positiva.

Le serie elettrochimiche.

In ordine di elettropositività abbiamo: Potassio (il più elettropositivo), Sodio, Magnesio, Alluminio, Manganese, Zinco, Cadmio, Ferro, Nichel, Idrogeno, Rame, Mercurio, Argento, Platino, Carbonio (il meno elettropositivo).

A causa delle cariche elettriche esistenti sulle piastre si stabilisce una differenza di potenziale tra di loro di circa 1,5 Volt – il valore esatto dipende dalla natura del materiale di cui sono costituite e non dalla loro dimensione fisica. Se le piastre vengono collegate esternamente mediante un conduttore, la differenza di potenziale esistente tra loro si traduce in un flusso di corrente attraverso il conduttore stesso, che va dalla piastra con carica negativa a quella con carica positiva.

Durante il flusso di corrente gli ioni positivi che si muovono nell'elettrolita sono neutralizzati, mentre si trovano nei pressi della piastra caricata positivamente, «assorbendo» uno degli elettroni «accorrenti». Si forma così immediatamente un film neutro attorno alla piastra positiva.

Polarizzazione.

Questo film ha due effetti importanti.

1) - Essendo elettricamente neutro abbassa la carica sulla piastra riducendo l'attrazione degli ioni positivi nell'elettrolita, cosicché ne risulta una riduzione della differenza di potenziale tra le due piastre.

2) - Il film riduce inoltre l'area disponibile per ricevere gli ioni aumentando in tal modo la resistenza interna della pila e causando la diminu-

zione della corrente. In questo modo la barriera esistente intorno alla piastra riduce il potenziale disponibile e la pila si dice *polarizzata.*

Azione locale.

Naturalmente la pila fornirà corrente soltanto per il periodo durante il quale le sue parti componenti sono attive. La reazione chimica tra il metallo più elettropositivo e l'elettrolita continua anche quando non viene assorbita corrente dal circuito esterno, dipendendo il grado di reazione dalla natura e dall'impurità del metallo, e dalle condizioni di temperatura. Questa reazione è conosciuta come «azione locale» e riduce la durata di immagazzinaggio della pila.

Capacità.

La vita utile della pila è determinata dalla corrente che essa può fornire prima che la tensione cada ad un valore basso, ed è perciò in relazione al tipo ed alla quantità dei materiali usati, ed alle condizioni di temperatura. Più elevato è l'assorbimento di corrente, più limitata è la vita: la combinazione dell'intensità di corrente e delle ore di servizio fornisce la «capacità della pila», e viene indicata in milliamper/ora (mA/ora).

Necessità di progettazione.

In qualsiasi pila - ed in particolare nelle pile in miniatura - la polarizzazione e l'azione locale devono essere ridotte al minimo assoluto, se la pila deve possedere una vita abbastanza prolungata ed efficiente.

La pila base descritta è soltanto una pila «elementare»: la sua vita utile (che termina quando la f.e.m. cade ad un valore finale di 0,9 Volt circa) è molto breve. Per aumentare la vita utile, è necessario usare un «depolarizzante» e cioè un mezzo per rimuovere il film neutro attorno alla piastra positiva. Il depolarizzante reagisce con gli ioni neutra-

lizzati formando un componente passivo. Una pila comprendente un depolarizzatore e la cui vita è collegata unicamente ai materiali usati è conosciuta come «sorgente primaria». Sorgente secondaria è quella nella quale la reazione elettrochimica può essere riattivata facendo passare una corrente di carica attraverso l'elemento generatore.

Lo sviluppo di una pila e la sua progettazione dà luogo sovente ad un lungo processo. La f.e.m. iniziale è determinata una volta che siano stati scelti i tre maggiori componenti: le due piastre e l'elettrolita. La capacità della pila è relativa alla dimensione fisica ed alla natura chimica delle sue parti componenti. Per la miniaturizzazione gli elementi della pila debbono essere scelti per fornire la massima corrente possibile ottenibile dalla reazione chimica, altrimenti la vita della pila sarà troppo limitata. Ma anche quando gli elementi sono stati scelti, la pila deve essere progettata con estrema cura per ottenere il massimo risultato ed un'ottima efficienza.

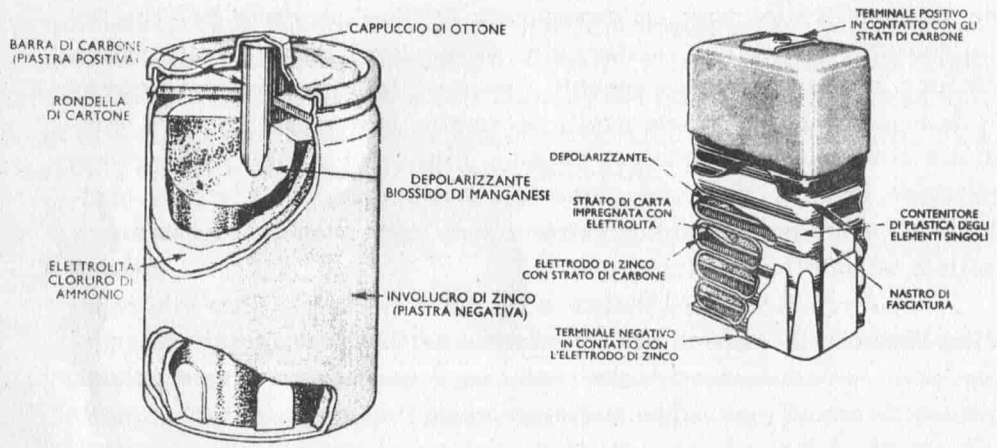
Le pile richiedono inoltre altre caratteristiche, oltre alla capacità: Esse devono essere robuste, devono nei limiti del possibile essere esenti da perdite di sostanze chimiche, e non devono essere influenzate dalle condizioni ambiente esterne come l'umidità e la temperatura.

III.2 - La pila Leclanché.

(Zinco - Biossido di manganese - Carbone).

Uno dei primi tipi di pila che trovò uso pratico fu la Leclanché, e secondo il suo principio sono costruite la maggioranza delle torce e batterie di pile attuali. Questo tipo di pila non è molto adatto per la miniaturizzazione in quanto una riduzione nelle dimensioni limita notevolmente la capacità. I singoli elementi di pila del tipo Leclanché a disco, sovrapposti l'uno all'altro, forniscono una più elevata f.e.m. ma i mA/ora di tali batterie (combinazione di singole celle) non superano quelli forniti da un elemento singolo: ciononostante essi trovano numerose applicazioni dove è richiesta una tensione elevata. La connessione in parallelo delle batterie accresce naturalmente la capacità: aumentano contemporaneamente, però, le dimensioni.

Sono indicati in forma semplificata, in fig.224, i più recenti sviluppi della pila Leclanché. Per ridurre le possibilità di perdite, l'elettrolita è in forma di pasta (da cui il termine «pila a secco»). In molte delle pile di tipo cilindrico prodotte, viene precauzionalmente adottato un ulteriore involucro d'acciaio nel quale è introdotto il cilindro di zinco e viene inoltre lasciato uno spazio libero sopra l'elettrolita per eliminare la necessità di uno sfogo dei gas superflui.



Elemento singolo

Batteria ad alta tensione del tipo a strati

Fig. 224 - Moderne pile Leclanché.

A parte la riduzione di capacità con la riduzione delle dimensioni (fenomeno comune a tutte le pile), le pile Leclanché presentano altri svantaggi che le rendono inadatte per la miniaturizzazione: sono infatti influenzate dalle variazioni di temperatura al di fuori di limiti ristretti, e non possono essere usate efficientemente con carico continuo.

Il depolarizzante, biossido di manganese, reagisce con l'idrogeno neutro formatosi intorno alla barra di carbone, producendo acqua. Durante la reazione tra l'elettrodo di zinco e l'elettrolita di cloruro di ammonio si forma idrogeno ionizzato). Sfortunatamente, il film d'idrogeno si forma più velocemente durante l'uso di quanto possa esserne eliminato dal depolarizzante. L'uso continuo perciò si traduce in una rapida riduzione della f.e.m.

Il depolarizzante continua ad operare anche quando la pila non è più collegata al circuito utilizzatore, cosicché le applicazioni ideali per la pila Leclanché sono quelle richiedenti un uso intermittente, specialmente dove esiste un forte assorbimento di corrente.

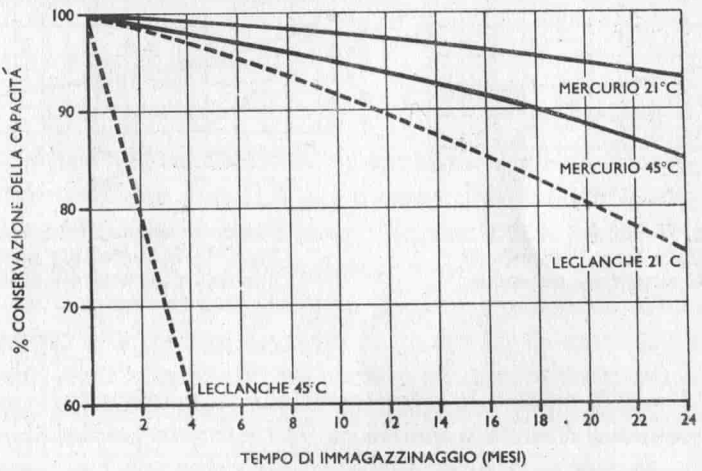


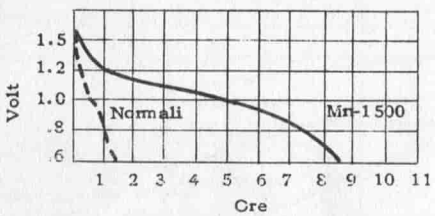
Fig. 225 - Durata di immagazzinaggio tipica per le pile.

L'azione locale che si verifica nelle pile Leclanché dipende in larga misura dalla temperatura. Alle alte temperature il tempo di conservazione in magazzino viene notevolmente ridotto. L'azione locale si riduce rendendo pastoso l'elettrolita, ma i materiali chimici usati nelle pile Leclanché non solo molto stabili. Il tempo di conservazione di una pila Leclanché tipica è indicata in fig. 225 per due differenti temperature di immagazzinaggio.

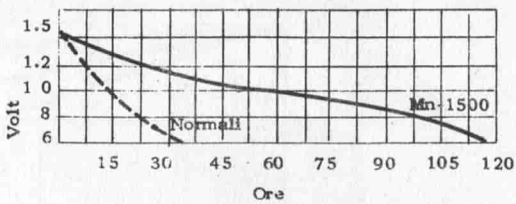
III.3 - Pile alcalino-manganese.

Una versione modificata del tipo Leclanché, utilizzante un elettrolita alcalino, idrossido di potassio (KOH) in luogo del cloruro di ammonio presenta delle caratteristiche nettamente migliori e può essere facilmente realizzata in dimensioni più piccole.

Il rapporto energia/volume delle pile tipo alcalino-manganese è più elevato di quello delle pile Leclanché, possedendo inoltre le prime una maggiore vita di immagazzinaggio.



Carico continuo 200 mA a 21°C
Tipo Mn-1500 Mallory confrontato
con una pila normale Leclanché.



Carico continuo 200 mA a 21°C
Tipo Mn-1500 Mallory confrontato
con una pila normale Leclanché.

Fig. 226

La fig. 226 mostra le caratteristiche di scarica delle pile tipo alcalino-manganese riferite a quelle di tipo normale Leclanché. Esse possono eventualmente sostituire con vantaggio il tipo Leclanché per uso

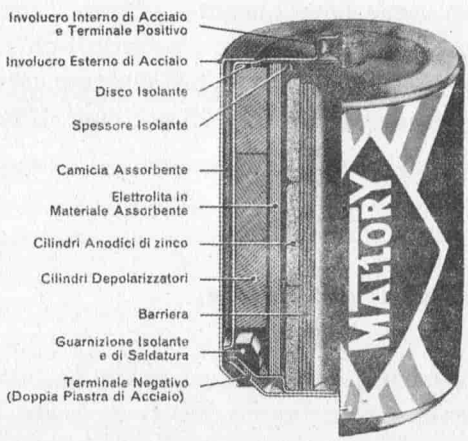


Fig. 227

generale e commerciale, ma attualmente hanno un costo di produzione leggermente superiore.

La fig. 227 mostra la struttura di una pila alcalino-manganese di costruzione Mallory.

III.4 - Pile al mercurio.

Durante l'ultimo conflitto, fu intrapreso un considerevole lavoro di ricerca per ottenere una pila che avesse una capacità più elevata di quella della Leclanché e che potesse essere conservata ed usata entro limiti abbastanza ampi di temperatura.

Il Dr. Samuel Ruben progettò in quel periodo un sistema elettrochimico impiegante piastre di zinco e mercurio. Questo tipo di pila sviluppato negli anni successivi ha portato un grande contributo alla miniaturizzazione dei componenti - infatti la più piccola pila mai costruita per usi commerciali è del tipo al mercurio.

Le pile al mercurio posseggono un rapporto energia/volume molto elevato. Per ogni grammo-mole di materiale dell'elettrodo attivato vengono liberati due Faraday. 1 grammo di ossido di mercurio e 0,302 grammi di zinco forniscono una capacità di circa 250 mA/ora corrispondente a circa sei sette volte la capacità di materiali usati nelle pile Leclanché.

La pila usa un sistema di «autodepolarizzazione» secondo la tecnica impiegata da Daniell nella sua pila a liquido, ed adottato nella pila campione al cadmio Weston. Nelle pile autodepolarizzanti, gli ioni neutralizzati si modificano in modo da costituire essenzialmente un metallo analogo a quello della piastra positiva. In questo modo il film o deposito non danneggia il flusso di ioni positivi, nè fa diminuire la conduttività interna durante il funzionamento: esso si limita a ricostruire l'elettrodo positivo.

La pila al mercurio tipo è indicata in fig.228. Forse la prima notevole caratteristica costruttiva che la contraddistingue sta nella posizione invertita degli elettrodi, con l'elettrodo positivo all'esterno. L'elettrodo negativo è costituito da zinco, laminato o formato di polvere compressa, mentre l'elettrodo positivo è costituito da mercurio libe-

rato durante il funzionamento dall'ossido di mercurio che agisce anche da depolarizzante. In pratica viene aggiunta all'ossido di mercurio una piccola percentuale di grafite micronizzata, per migliorare le sue caratteristiche fisiche e per ridurre la resistenza interna della pila. L'elettrolita è una soluzione acquosa concentrata di idrossido di potassio e di ossido di zinco. Le pile al mercurio posseggono un'alta stabilità che è attribuibile alla saturazione dell'elettrolita con zincato di potassio, formato dalla reazione tra l'ossido di zinco e l'idrossido di potassio. Questo inibisce l'attacco della soluzione alcalina all'elettrodo di zinco e quindi è notevolmente limitata la possibilità di sviluppo di idrogeno du-



Fig. 228

Quando la pila viene collegata ad un circuito esterno, si produce istantaneamente energia elettrica per la reazione elettrochimica:

$$Zn + HgO + H_2O \longrightarrow \underset{\downarrow}{Zn(\underset{\uparrow}{OH})_2} + Hg$$
$$Zn\ O + H_2O$$

che si genera tra le superfici dell'anodo ed il catodo. Durante la reazione gli ioni dello zinco penetrano nell'elettrolita per spostare gli ioni positivi dell'idrogeno, che a loro volta muovono verso l'ossido di mercurio. Qui vengono rimossi ioni positivi di mercurio, l'idrogeno si combina con l'ossigeno e forma acqua. Gli ioni positivi di mercurio catturano gli

elettroni in arrivo e vengono neutralizzati: non si verifica polarizzazione in quanto il mercurio è l'elemento costituente l'elettrodo.

In figg. 225 e 229 sono indicate le caratteristiche di immagazzinaggio e scarica delle pile al mercurio. Queste curve naturalmente sono relative a pile di una specifica dimensione: per raffronto sono indicate le caratteristiche di pile Leclanché di dimensione similare.

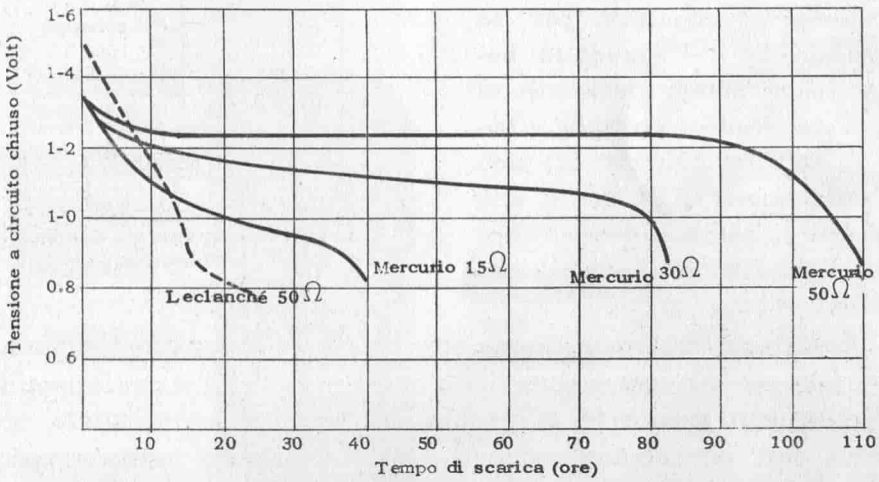


Fig. 229 - Pile tipo «stilo» sotto scarica continua a 21°C (è indicato il valore della resistenza di carico).

Le caratteristiche di scarica delle pile al mercurio (fig. 229) sono rimarcabili sotto due aspetti: la loro lunga vita e la loro stabilità di tensione. La straordinaria durata è il risultato dell' eccezionale rapporto energia/volume dei materiali impiegati. È stata costruita su scala industriale una pila avente 60,30 mm di altezza e 30,18 mm di diametro, che fornisce una capacità di 14000 mA/ora e una corrente di scarica di 250 mA. Si può ragionevolmente concludere che la miniaturizzazione delle pile al mercurio può dare risultati favorevoli ed estremamente interessanti. La fig. 230 mostra, a parità di capacità, le dimensioni di ingombro di una pila Leclanché e di una pila al mercurio equivalente.

La più piccola batteria mai prodotta, con dimensioni di solo 3,43 mm di altezza e 7,75 mm di diametro e pesante grammi 0,57 ha una capacità di 36 mA/ora con corrente di scarica di 2 mA.

Tali pile hanno aperto nuove possibilità in molti campi della ricerca scientifica, dove la miniaturizzazione è un requisito per la sperimentazione e l'impiego in serie. La lunga durata delle pile al mercurio le rende ideali per l'impiego in apparecchiature del tipo «non recuperabile», le quali, una volta messe in servizio devono continuare a funzionare il più a lungo possibile.

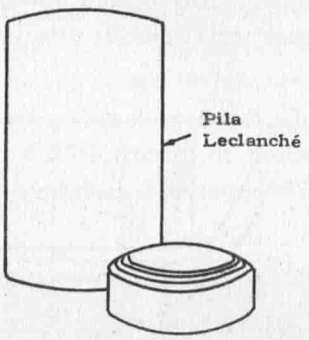


Fig. 230

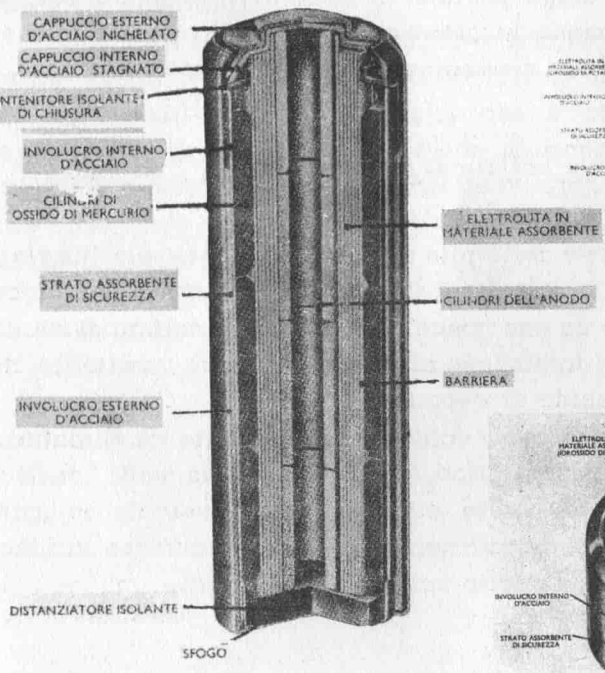
I vantaggi derivanti da una erogazione a f.e.m. costante, fornita dalla pila per la maggior parte della sua vita utile ed in condizioni di continuo impiego, sono ovvi, la costanza di tensione è attribuibile, come è noto, dall' autodepolarizzazione. Le pile possono inoltre sopportare corto circuiti istantanei ed in genere sovraccarichi di corrente, mentre la normale f.e.m. esistente a circuito aperto si ristabilisce entro pochi minuti.

Le pile al mercurio sono inoltre in grado di funzionare efficientemente entro ampi limiti di temperatura, più estesi rispetto agli altri tipi di pila. Da temperature sotto lo zero a temperatura di 64° C che, nel caso dei tipi Leclanché allo zinco-carbone è di circa 15 - 37° C e 5° C - - 54° C per le pile alcaline. Brevi periodi ad elevata temperatura (120° C) o, quando la corrente erogata è limitata, l'uso continuo alle basse temperature non influenzeranno le caratteristiche delle pile al mercurio.

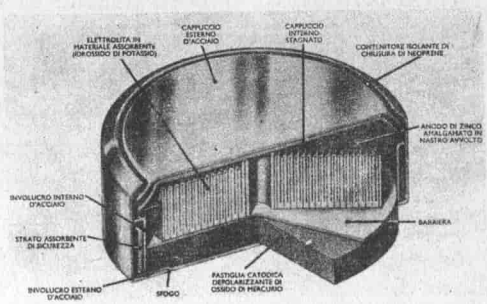
In fig. 231 sono indicate tre realizzazioni tipiche di pile al mercurio.

Per l'anodo di zinco vengono adottate due forme diverse: polvere compresa o foglio di zinco amalgamato. I tipi con foglio di zinco sono caratterizzati da un diametro di notevoli dimensioni e sono specificatamente progettati per ottenere superiori prestazioni alle basse temperature.

Le caratteristiche delle pile al mercurio mettono in evidenza i fattori che occorre tenere presenti nella costruzione di ogni pila miniaturizzata. L'involucro esterno anticorrosivo è costituito da acciaio nichelato o inossidabile, che conferisce la massima inerzia chimica ai materiali interni della pila.



Struttura cilindrica (costruzione Mallory)



Anodo piatto con struttura ad avvolgimento (costruzione Mallory).

Fig. 231

La barriera permeabile inibisce la migrazione di particelle solide nella pila, contribuendo ad aumentare la vita di immagazzinaggio e di servizio. Un particolare accorgimento costruttivo consente inoltre di creare uno sfogo automatico ai gas prodottisi nella pila in condizioni di funzionamento «anormali», e cioè in presenza di correnti inverse e di corto circuiti.

Lo sfogo automatico funziona nel modo seguente:

Quando le pressioni interne sono anormalmente elevate, la parte superiore della pila è spinta verso l'alto contro il bordo ribatturo dell'involucro esterno, in modo da assottigliare la guarnizione ivi esistente. Si verifica in questo modo uno sfogo tra i due contenitori, interno ed esterno della pila attraverso l'apertura creatasi. L'eventuale elettrolita pervenuto nell' intercapedine è assorbito dalla guarnizione di protezione, in modo che i materiali corrosivi non vengono portati all'esterno con i gas fuoruscenti dall'apertura di sfogo posta al di sotto dell'involucro esterno. Compiutasi questa operazione la pressione interna si riduce e la guarnizione superiore riprende le dimensioni di normale funzionamento.

La pila allo zinco - ossido e solfato di mercurio.

Un ulteriore sviluppo delle pile al mercurio contempla l'impiego di un elettrolita nè acido, nè alcalino: l'anodo è costituito da zinco, mentre il catodo è formato da una miscela di ossido e solfato di mercurio. I materiali componenti forniscono alla pila le stesse caratteristiche della pila allo zinco ed ossido di mercurio.

L'elevato rapporto energia/volume hà consentito di miniaturizzare notevolmente la pila. Questo tipo di pila è usato in molti degli orologi elettrici, da polso e da parete attualmente sul mercato, in quanto le proprietà non corrosive, le caratteristiche di lunga durata e la f.e.m. costante della pila lo rendono adatto per tali applicazioni.

III.5 - Altri tipi di pile.

Degli importanti tipi di pila trattati fin'ora, quelli allo zinco ed ossido di mercurio ed allo zinco-ossido e solfato di mercurio forniscono le migliori possibilità di miniaturizzazione; ma questo non significa che altri tipi di pila non possono essere costruiti in dimensioni notevolmente ridotte.

Il magnesio ad esempio è teoricamente più adatto dello zinco per costituire l'anodo (l'anodo è la piastra che si carica negativamente), in quanto possiede una reversibilità di potenziale più elevata ed una maggiore capacità in mA/ora per unità di peso. Recenti modelli realizzati con anodi di magnesio impiegano un elettrolita formato da una soluzione acquosa di bromuro o perclorato, di magnesio, con materiali catodici come biossido di manganese, ossido rameico, ossido di mercurio e composti organici. Queste pile hanno una curva di scarica digradante simile a quella dei tipi Leclanché, ma forniscono una tensione di funzionamento leggermente superiore.

Sono stati inoltre impiegati per lo studio di nuove pile catodi di sostanze organiche e depolarizzanti formati da nitro o dinitrobenzene. Molti dei composti hanno una capacità che è circa sei o sette volte la capacità teorica in mA/ora del biossido di manganese ed alcune ricerche hanno dimostrato che la loro efficienza viene ulteriormente aumentata se sono usati dei catalizzatori. Queste pile non sono ancora disponibili per il mercato commerciale.

*

PARTE QUARTA

CAPITOLO I

APPARECCHIATURE ELETTRONICHE

1.1 - Generalità.

La progettazione di apparecchiature elettroniche tende in generale a raggiungere due scopi principali:

1) - il miglioramento delle caratteristiche tecniche e di funzionamento delle apparecchiature in modo da assicurare le loro prestazioni anche con le peggiori condizioni ambientali e di funzionamento.

2) - l'organizzazione dei procedimenti di costruzione al fine di aumentare la produzione e di ridurre i costi di produzione.

I sistemi di progettazione delle apparecchiature elettroniche variano in funzione dell'uso alle quali queste sono destinate.

In funzione dell'uso queste si possono suddividere in tre categorie.

1) - Apparecchiature elettroniche per uso commerciale non professionale come radioricevitori, televisori, giradischi, registratori audio, apparecchiature ad alta fedeltà.

2) - Apparecchiature elettroniche per uso commerciale di tipo professionale utilizzate per usi industriali e scientifici come strumenti di misura, calcolatori elettronici, trasmettitori radio e televisivi ecc.

3) - Apparecchiature elettroniche per uso militare come radar, trasmettitori per telecomunicazioni ecc.

I sistemi di progettazione delle apparecchiature variano inoltre in funzione delle condizioni ambientali di lavoro, per esempio; funzionamento in ambienti, a temperatura elevata, con un grado umidità relativa elevato, con basse temperature ecc.

Le apparecchiature elettroniche commerciali per uso non professionale vengono progettate tenendo conto principalmente del prezzo competitivo di mercato. Pertanto il circuito, i componenti ed il telaio della apparecchiatura vengono scelti in modo da assicurare il normale funzionamento per un certo tempo. Un altro fattore determinante per queste apparecchiature è la forma ed il tipo di rifinitura del mobilio al fine di poterlo adottare allo stile degli ambienti.

Le apparecchiature elettroniche commerciali di tipo professionale e le apparecchiature per uso militare vengono invece progettate tenendo conto principalmente del fattore sicurezza di funzionamento e pertanto la progettazione meccanica e la scelta dei componenti viene fatta in modo da mantenere elevato questo grado di sicurezza.

1.2 - Dimensionamento e costituzione delle apparecchiature.

Nella progettazione delle apparecchiature elettroniche ed in particolar modo per quelle professionali e militari si deve tener conto del numero e delle dimensioni utili dei vari telai degli armadi contenitori, del tipo di materiale da utilizzare e del grado di finitura in funzione della loro utilizzazione.

La disposizione dei vari telai nell'armadio e la disposizione dei vari componenti sui telai deve essere fatta in modo da assicurare la accessibilità immediata di ogni singolo componente, la dissipazione del calore e la facile intercambiabilità di ogni singolo componente o di parte dell'apparecchiatura.

Il peso dei singoli telai che compongono l'apparecchiatura non deve essere eccessivo e comunque non deve superare i 20 kg; ciò allo scopo di assicurare il trasporto e la maneggevolezza in sede di costruzione o di riparazione.

La disposizione dei vari telai nell'armadio che costituiscono la apparecchiatura deve essere scelta in modo, compatibilmente con le esigenze di carattere elettrico dell'apparecchiatura stessa, da dislocare i telai di peso maggiore nella parte bassa dell'apparecchiatura.

1.3 - Dimensioni standard dei pannelli.

Le apparecchiature di tipo stazionario sono generalmente costituite da un insieme di pannelli e di telai di alluminio di dimensioni standard che vengono montati su sostegni anch'essi di dimensioni standard Questo sistema di montaggio facilita l'intercambiabilità e la combinazione dei vari pannelli che costituiscono l'apparecchiatura.

TABELLA 7

Unità	A	B	C	D	E	F	G
1	482,60	43,65	31,75	5,95	7,20	4,62	10,3
2	482,60	88,10	76,20	5,95	7,20	4,62	10,3
3	482,60	132,55	57,15	37,70	7,20	4,62	10,3
4	482,60	177	101,60	37,70	7,20	4,62	10,3
5	482,60	221,45	146,05	37,70	7,20	4,62	10,3
6	482,60	266	190.60	37,70	7,20	4,62	10,3
7	482,60	310,35	234,95	37,70	7,20	4,62	10,3
8	482,60	354,80	279,40	37,70	7,20	4,62	10,3
9	482,60	399,25	323,85	37,70	7,20	4,62	10,3
10	482,60	443,50	368,10	37,10	7,20	4,62	10,3

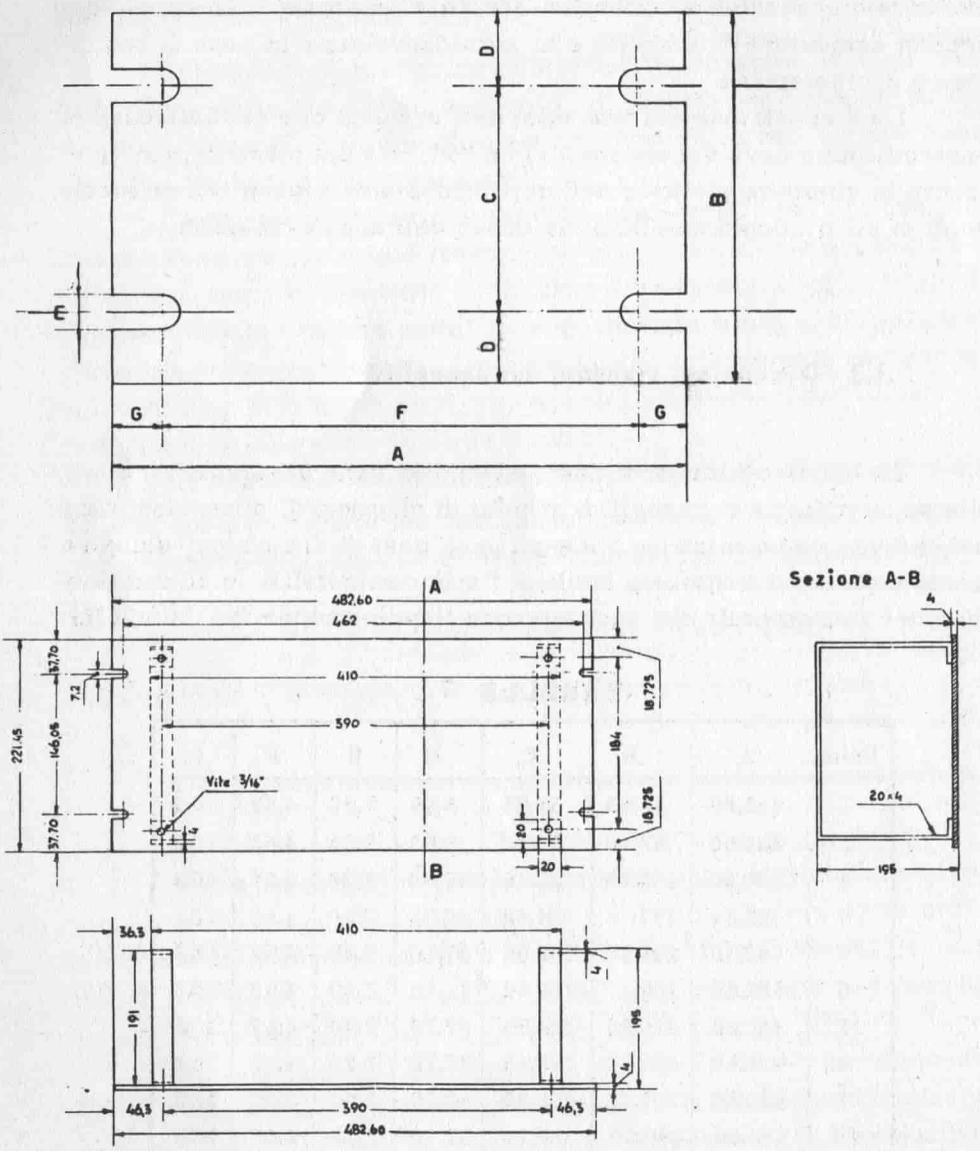

D
C
B
D
E
G
F
G
A
482,60
462
A
B
410
390
Vite 3/16"
221,45
146,05
37,70
37,70
7,2
184
18,725
18,725
20
20
Sezione A-B
4
20x4
196
36,3
410
191
196
46,3
390
46,3
482,60

Fig. 232

I pannelli standard hanno una larghezza fissa di mm 482,60 ed uno spessore variabile da 3 a 7 mm. L'altezza è variabile secondo unità standard di dimensioni fisse.

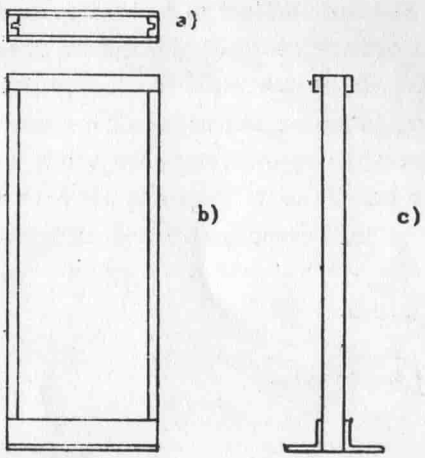


Fig.233

Sostegno standard

a) - vista dall'alto
b) - vista di fronte
c) - vista di lato.

La fig.232 mostra il disegno di un pannello standard e la tabella 7 indica le dimensioni delle varie unità standard.

I sostegni standard sono costruiti con profilato di ferro a C come mostra la fig. 233.

1.4 - Armadi.

Per proteggere dalla polvere i singoli componenti si utilizzano dei coperchi metallici che vengono montati sulla parte posteriore dei pannelli infilandoli sulle guide indicate nella sezione A-B della figura 232.

Questo sistema di protezione oggi è stato quasi del tutto abbandonato. In sua vece si preferisce inserire i vari pannelli e telai standard in un unico armadio provvisto di porta di accesso posteriore ed in alcuni casi anche di una porta anteriore. La dissipazione del calore

dai vari componenti l'apparecchiatura viene effettuata o per circolazione naturale di aria, mediante apposite fenditure praticate in basso ed in alto sulle porte, oppure, mediante circolazione di aria forzata, mediante ventilatori.

Speciali criteri di progettazione vengono utilizzati per la costruzione di apparecchiature di grande potenza, come trasmettitori radio e televisivi. In questi casi le dimensioni e le forme dei vari pannelli e degli armadi vengono definite in funzione della dissipazione del calore, delle possibili interferenze fra stadi e stadi, delle maggiori protezioni richieste per l'uso di tensioni elevate e della facile ed immediata accessibilità ai vari componenti del circuito.

1.5 - Il telaio.

Il telaio è l'elemento fondamentale di una apparecchiatura elettronica. Sul telaio sono montati i vari componenti del circuito come, tubi elettronici, resistori, condensatori ecc.

Il telaio, generalmente di metallo, oltre alla funzione di sostegno rigido per i vari componenti ha il compito di facilitare la dissipazione del calore prodotto dai vari componenti e di provvedere alla schermatura degli stessi da campi elettrici e magnetici esterni.

Poiché il telaio generalmente è mantenuto a potenziale di massa, tutti i punti del circuito che devono essere a potenziale di massa possono essere terminati sul telaio.

I punti di terminazione al telaio devono essere scelti in modo da ridurre al minimo il percorso di ritorno dei circuiti attraverso il telaio.

Le dimensioni meccaniche e la configurazione del telaio dipende dal tipo e della funzione dell'apparecchiatura.

La fig. 234 mostra alcuni tipi di telai utilizzati in apparecchiature di tipo non professionale.

La fig. 235 mostra un telaio rigidamente collegato al relativo pannello standard utilizzato in apparecchiature di tipo professionale.

Un tipo di telaio oggi molto usato è quello a forma di piastra generalmente montato verticalmente e provvisto lateralmente di cerniere in modo da rendere facilmente accessibili le due facce del telaio. I tubi elettronici ed i componenti di grandi dimensioni vengono montati

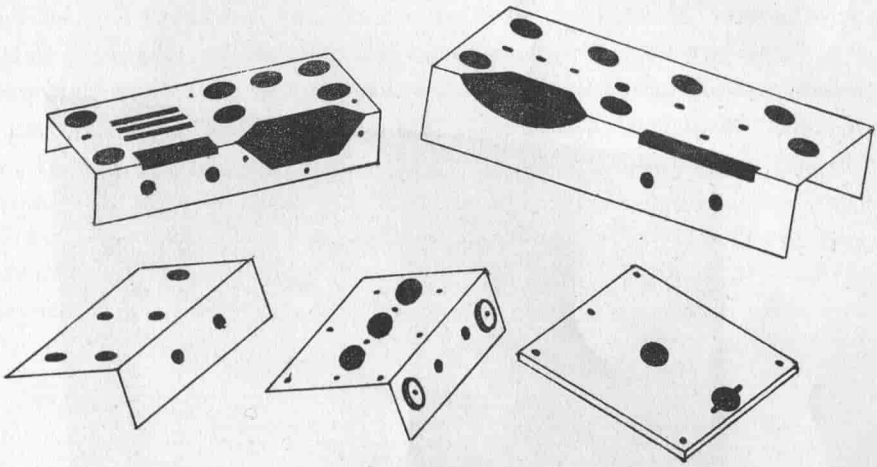


Fig. 234

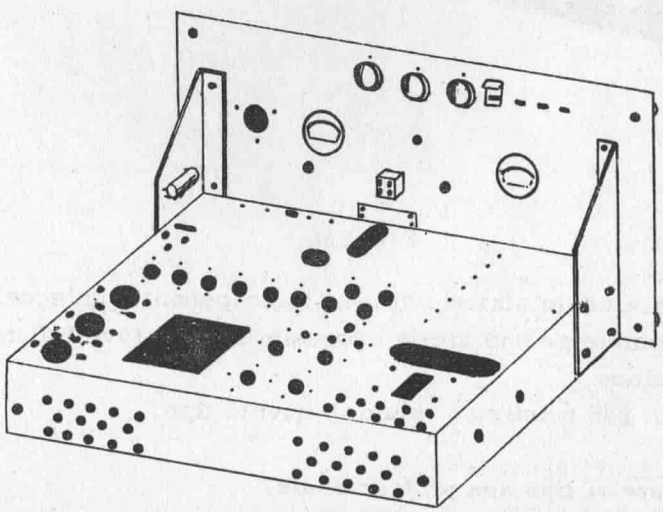


Fig. 235

da un lato delle piastre mentre i componenti di piccole dimensioni (resistori, condensatori ecc.) vengono montati insieme con il cablaggio

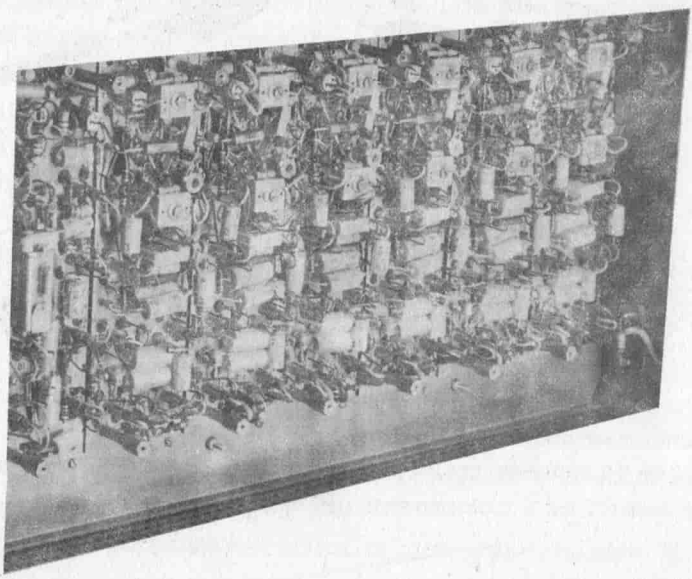


Fig. 236

sull'altro lato. Questo sistema di montaggio permette un'eccellente dissipazione di calore ed una facile accessibilità per lavori di riparazione e di manutenzione.

La fig. 236 mostra un telaio di questo tipo.

Apparecchiature di tipo non professionale.

Le apparecchiature di tipo non professionale, in contrasto con quelle di tipo professionale e militare, vengono generalmente proget-

tato in funzione dello stile e della forma richiesta. Molto spesso sono richieste apparecchiature di piccole dimensioni, come apparecchi radio e televisori di tipo portatile. In questo tipo di apparecchiature, come abbiamo già detto, il prezzo di vendita costituisce un elemento veramente competitivo. I progettisti pertanto nel dimensionare queste apparecchiature cercano di realizzare le caratteristiche meccaniche ed elettriche richieste scegliendo opportunamente i vari componenti che costituiscono l'apparecchiatura e studiando opportuni sistemi di montaggio in modo da ridurre il più possibile il costo.

Una notevole riduzione dei costi di lavorazione si è potuto ottenere, in questi ultimi temp , con l'uso dei circuiti stampati e dei semiconduttori.

*

CAPITOLO II

PROGETTAZIONE DI UN'APPARECCHIATURA ELETTRONICA.

II.2 - Generalità.

La progettazione di un'apparecchiatura elettronica ha inizio con la determinazione dello schema a blocchi dei vari stadi che costituiscono l'apparecchiatura. Questa prima operazione permette una immediata visione dell'entità di tutta l' apparecchiatura e degli stadi necessari, permette inoltre di prevedere, in funzione del lavoro e della funzione dei singoli stadi, il numero dei telai necessari. La fig. 237 mostra lo schema a blocchi di un televisore.

Dallo schema a blocchi si ricava lo schema elettrico di massima del circuito. Si calcolano pertanto stadio per stadio tutti gli elementi di circuito.

Si passa ora al montaggio sperimentale del circuito. Questa operazione ha lo scopo di controllare sperimentalmente la funzionalità del circuito, di identificare eventuali punti critici e di determinare i valori ottimi di funzionamento dei vari componenti del circuito.

Questo primo montaggio sperimentale viene generalmente effettuato su un telaio di materiale isolante provvisto di un certo numero di terminali metallici e di alloggiamenti per tubi elettronici tali da permet-

tere un facile collegamento dei vari componenti il circuito ed una facile sostituzione di ognuno di essi. Il circuito così realizzato viene provato ed opportunamente variato fino ad ottenere da esso le prestazioni volute.

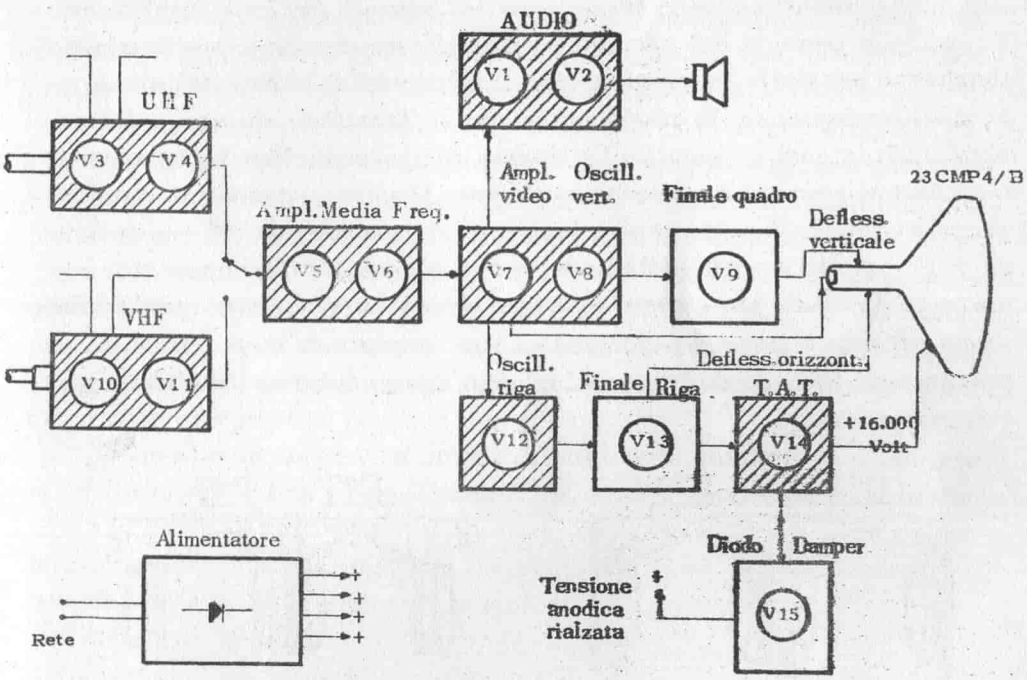


Fig. 237

Siamo in grado ora di disegnare lo schema elettrico definitivo del circuito e di ricavare le dimensioni utili dei vari telai dell'apparecchiatura in funzione dei componenti alloggiati su ciascuno di essi e della loro disposizione relativa sul telaio. In questa operazione il progettista deve tener conto, delle possibili interferenze fra i vari componenti, della uniforme distribuzione del peso sui vari telai, della possibilità di realizzare i vari circuiti con cablaggi i più corti possibili fra i vari componenti.

Come prima operazione sarà utile determinare sui vari telai la ubicazione ottima dei componenti di maggiore peso e dimensione; tubi

elettronici, trasformatori, condensatori elettronici, potenziometri, pagliette terminali, fusibili, interruttori, lampade ecc.

In generale i tubi elettronici devono essere sistemati in modo da risultare allineati secondo il percorso del segnale da loro amplificato. I conduttori percorsi dal segnale da amplificare devono avere la minima lunghezza possibile; a questo scopo il terminale di placca del primo tubo deve essere posto in corrispondenza del terminale di griglia del secondo tubo e così di seguito. La stessa raccomandazione vale per tutti i conduttori percorsi da frequenze elevate. Quando i conduttori per una qualche ragione devono essere lunghi è necessario che il conduttore di griglia risulti lontano dal conduttore di placca e comunque mai con percorso parallelo per evitare fenomeni di reazione. Quando proprio non se ne può fare a meno il percorso dei due conduttori deve risultare ad angolo retto in modo da ridurre al minimo accoppiamenti elettromagnetici indesiderati.

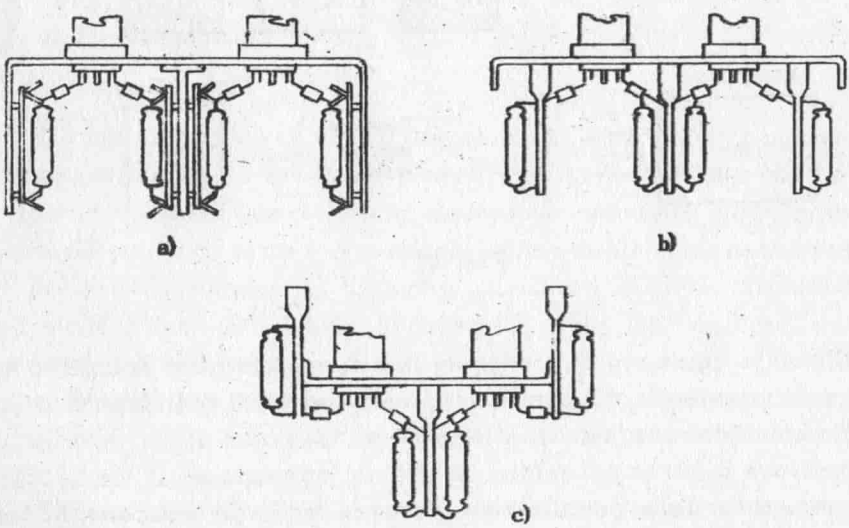


Fig. 238

I vari componenti devono essere disposti in modo da assicurare la migliore accessibilità possibile.

La fig. 238 mostra come l'accessibilità dei componenti risulta nettamente superiore con il telaio a piastra. Nella fig. 238 b e c infatti i vari componenti sono immediatamente accessibili.

Costruito in questo modo il prototipo l'apparecchiatura viene sottoposta a prove di collaudo elettriche e meccaniche fino a raggiungere le richieste caratteristiche elettriche e meccaniche di funzionamento.

Raggiunta questa condizione si ricava il disegno definitivo costruttivo di tutte le parti meccaniche che compongono l'apparecchiatura, e si fa un elenco di tutti i componenti in essa utilizzati specificandone le caratteristiche elettriche e le dimensioni di ciascuno di essi.

Avendo così a disposizione lo schema elettrico del circuito, i disegni costruttivi di tutte le parti meccaniche, la lista e le dimensioni dei vari componenti si passerà alla fase costruttiva studiando in funzione del numero di pezzi da realizzare, i metodi e le fasi di lavorazione per ridurre al minimo il costo di produzione.

Lo stesso sistema di progettazione viene adottato per le apparecchiature con circuiti prefabbricati, in questo caso dopo aver realizzato il circuito sperimentale si studia il cablaggio del circuito prefabbricato utilizzando gli stessi criteri sopracitati ed i procedimenti di realizzazione di detti circuiti già indicati nel capitolo terzo.

*

CAPITOLO III

SCHERMATURA DEI COMPONENTI E DELLE APPARECCHIATURE.

III.1 - Generalità.

La schermatura dei componenti e delle apparecchiature elettroniche costituisce uno dei problemi più importanti nella progettazione di nuove apparecchiature. E' utile pertanto esaminare alcuni concetti fondamentali al fine di facilitare la scelta dei materiali da utilizzare come schermi.

Uno schermo è costituito da un metallo che ha lo scopo di attenuare l'energia elettromagnetica che lo attraversa.

Gli schermi si suddividono in due tipi:

a) - schermi elettrostatici
b) - schermi magnetici.

III.2 - Schermi elettrostatici.

Gli schermi elettrostatici sono principalmente usati per ridurre od eliminare interferenze dovute a campi elettrici.

Gli schermi di questo tipo sono normalmente costruiti con materiali di elevata conducibilità elettrica, come l'alluminio, il rame, l'ottone e lo zinco.

La tabella 8 riporta la conducibilità di questi elementi riferita al rame ed il minimo spessore utile del materiale come elemento schermante.

TABELLA 8

Materiali non magnetici per schermi elettrostatici

Metallo	Conducibilità relativa al rame	Minimo spessore in mm
Alluminio	0,61	0,33
Ottone	0,25	0,58
Rame	1,00	0,25
Zinco	0,29	0,47

L'attenuazione del campo elettrico attraverso la superficie metallica dipende dalla resistività, dalla permeabilità e dallo spessore del materiale. Uno spessore di 0,1 mm di lamierino di rame presenta un'attenuazione espressa in dB di:

$$A = 13{,}14 \sqrt{f} \quad \text{dB}$$

ove f è la frequenza in Mc/s.

Per gli altri materiali l'attenuazione in dB per decimi di mm si calcola dalla formula:

$$L = A \sqrt{\frac{1{,}72\,\mu}{\rho}}$$

ove ρ è la resistività in $\mu\Omega \cdot cm^3$, μ è la permeabilità magnetica ed A è l'attenuazione corrispondente al rame puro.

La fig. 239 riporta un nomogramma per il calcolo dello spessore dei materiali utilizzati come schermi elettrostatici in funzione della frequenza.

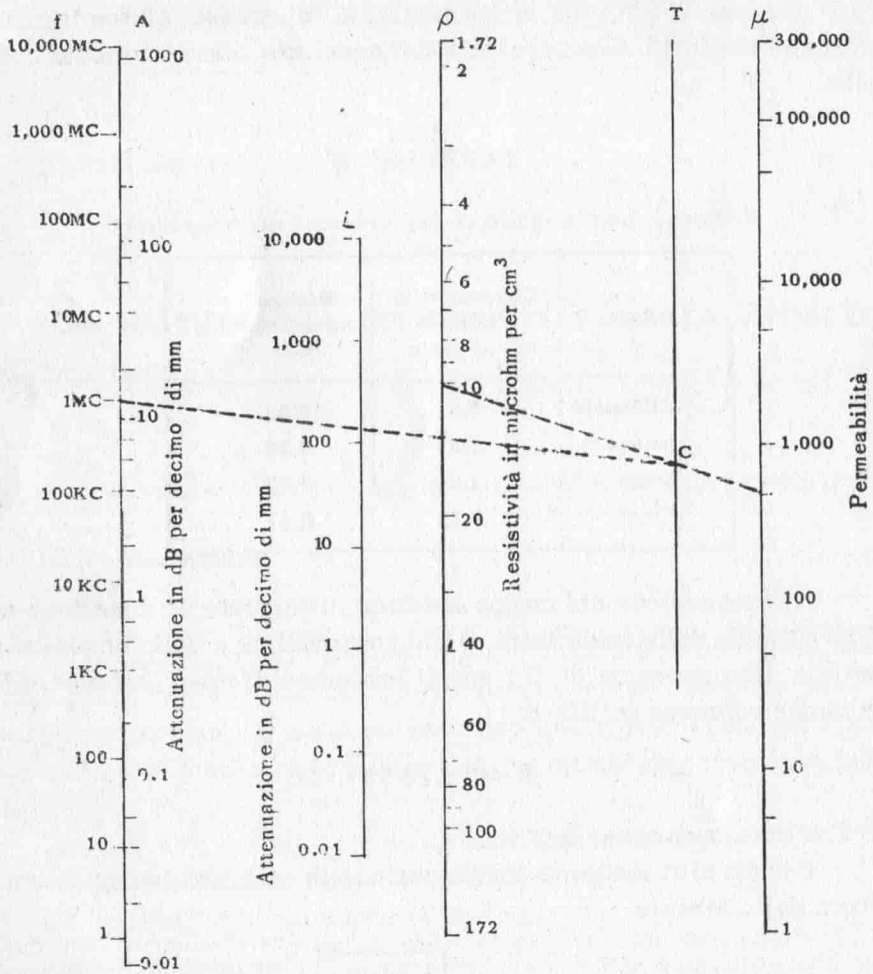


Fig. 239 - Nomogramma per il calcolo dello spessore dei materiali utilizzati come schermi elettrostatici in funzione della frequenza.

Per il calcolo dello spessore utile di un lamierino di rame si identifica sulla scala f del nomogramma la frequenza di lavoro, in cor-

rispondenza si legge sulla scala A l'attenuazione in dB per decimi di mm. Moltiplicando il valore trovato per lo spessore in decimi di mm di ottiene il valo-

Fig.239 a

Materiali	Resistività ρ in $\mu\Omega \cdot cm^3$	Permeabilità μ
Nichel	7	110 - 600
Ferro-silicio	25	260 - 7700
Permalloy	21	6000 - 100.000
Mumetal	25	7000 - 100.000
Alluminio	2,83	1
Ottone	7,5	1
Rame	1,72	1
Bronzo fosforoso	11,5	1
Zinco	5,9	1

re dell' attenuazione richiesta. Per gli altri metalli si identificano sul nomogramma i rispettivi punti corrispondenti ai valori di ρ e μ del materiale. Si identifica sulla retta T il punto C corrispondente alla congiungente tracciata per i punti ρ e μ. Si congiunge il punto corrispondente alla frequenza di lavoro con il punto C, l'intersezione di questa retta con la retta L fornisce il valore di attenuazione di dB per decimi di mm di spessore. La

La tabella in fig.239 a) riporta i valori di resistività e di permeabilità di alcuni materiali usati come schermo.

III.3 - Schermi magnetici.

Gli schermi magnetici sono principalmente utilizzati per basse frequenze di lavoro, generalmente comprese nel campo delle audiofrequenze, ed in quei casi in cui gli schermi elettrostatici hanno poca influenza.

I materiali non magnetici trovano scarsa applicazione come schermi magnetici perché poco efficienti a questo scopo.

I materiali normalmente impiegati come schermi magnetici sono quelli con caratteristiche ferromagnetiche come il ferro, il nichel il cobalto e loro leghe.

I parametri maggiormente utilizzati per definire la profondità di penetrazione e lo spessore relativo del materiale sono:

la conduttività σ, la permeabilità relativa μ_r, la variazione angolare della frequenza $\omega = 2\pi f$, lo spessore dello schermo d, lo spessore di pelle relativo ρ, la profondità di penetrazione d_0 o di $\beta = 1/d_0$

$$\rho = d\beta = d \cdot \frac{\omega \mu \sigma}{2}$$

La profondità di penetrazione d_0 corrisponde alla distanza della superficie dello schermo alla quale il campo è attenuato del 37% del valore misurato alla superficie.

Gli schermi in funzione del rapporto $d/d_0 = \rho$ si dividono in schermi elettricamente sottili per $\rho << 1$ e schermi elettricamente spessi per $\rho >> 1$. Il rapporto $d/d_0 = \rho = 1$ definisce la frequenza critica di funzionamento del materiale come schermo.

$$f_c = \frac{1}{\pi \mu \sigma d^2}$$

E' importante in tutti i casi conoscere il valore della permeabilità relativa e della conducibilità del materiale alla frequenza di lavoro in modo da valutarne il grado di attenuazione e quindi l'efficienza come schermo magnetico.

Informazioni di questo genere non solo servono ad aumentare il grado di schermatura ma aiutano a scegliere in funzione della frequenza di lavoro il materiale più adatto allo scopo senza perdere di vista il lato economico che costituisce uno dei fattori importanti che rendono minimo il costo di produzione dell'apparecchiatura finita.

*

CAPITOLO IV

FILATURA E SALDATURA

IV.1 Generalità.

Come abbiamo già detto le apparecchiature elettroniche sono essenzialmente costituite di componenti come resistori - condensatori, tubi elettronici, transistori, trasformatori ecc. elettricamente e meccanicamente collegati fra loro da conduttori.

L'operazione di filatura o di cablaggio dei vari componenti l'apparecchiatura richiede un certo numero di ore lavorative corrispondenti a circa il 30 ÷40% del costo dell'apparecchiatura finita. Si utilizzano pertanto sistemi di montaggio e di filatura a catena od in serie allo scopo di ridurre al minimo il costo di questa operazione.

1) - Materiali.

Per la filatura vengono generalmente utilizzati fili di rame unipolare isolato di sezione variabile da pochi decimi di millimetro a qualche millimetro.

Si usano anche conduttori di rame non isolati; questi generalmente in piattina od a sezione circolare di alcuni mm^2 di sezione vengono u-

tilizzati come collegamenti di ritorno a massa od al telaio dei vari circuiti dell'apparecchiatura.

L'isolamento dei conduttori è generalmente costituito da materiale termoplastico, da cotone, da naylon, da fibre di vetro da vernici grasse o da vernici siliconiche.

L'isolamento oggi maggiormente utilizzato, perché di ottime caratteristiche elettriche e di minor costo, è quello di tipo termoplastico. Appartengono a questa categoria il polietilene, il cloruro di polivinile, il teflon ed un numero elevato di loro derivati.

Questi materiali hanno una elevata resistenza di isolamento, un elevato valore di rigidità dielettrica, un elevato grado di idrorepellenza ed una sufficiente resistenza meccanica alle abrasioni.

Presentano un elevato grado di flessibilità ed una temperatura di rammollimento compresa fra 60 e 90° C tranne per il teflon che comincia a rammollire oltre i 250° C.

I conduttori isolati con fibre di vetro trovano applicazione in apparecchiature previste per il funzionamento a temperatura elevata e per apparecchiature professionali ove si richiede un elevato valore di resistenza di isolamento ed un'elevata sicurezza di funzionamento.

I conduttori isolati con naylon trovano applicazione in apparecchiature di tipo professionale funzionanti a temperatura ambiente. Il costo di questo tipo di isolamento è inferiore a quello ottenuto con fibre di vetro.

Il naylon ha ottime qualità isolanti ed una elevata resistenza alle abrasioni.

Per apparecchiature funzionanti sotto severe condizioni di umidità, e per circuiti funzionanti a R.F. ed a tensioni elevate si usano conduttori isolati con teflon (tetrafluoroetilene) oppure con teflon misto a fibre di vetro.

Questo materiale può essere utilizzato fino a temperature di 250° C, ha un elevatissimo grado di resistenza di isolamento, bassissime perdite a R.F., è idrorepellente, non si ossida col tempo a contatto con l'ossigeno, non è soggetto a ricoprirsi di polvere, resiste all'azione corrosiva degli acidi e delle basi, e solo sotto speciali condizioni può essere attaccato dall'acido fluoridrico e dall'acido cloridrico.

Un'altra nuova gamma di materiali isolanti oggi utilizzati per il rivestimento dei conduttori sono le vernici al silicone. Queste vernici a differenza di quelle grasse naturali hanno una elevata resistenza di isolamento, una temperatura di funzionamento fino a circa 150°C., un elevato grado di idrorepellenza.

Per queste eccezionali prestazioni i conduttori isolati con vernici al silicone si prestano per la realizzazione di avvolgimenti di trasformatori e di apparecchiature funzionanti a temperature elevate e con un'elevata percentuale di umidità relativa.

IV.2 - Sistemi di filatura.

Il conduttore come abbiamo già detto ha il compito di stabilire la continuità elettrica fra due elementi di circuito elettricamente isolati fra loro. Il conduttore scelto per realizzare questa continuità deve avere una sezione adeguata al valore di corrente destinato a circolare in esso, una adeguata resistenza meccanica e deve essere solidamente ancorato, mediante saldatura, alle due estremità terminali.

La filatura può essere realizzata in due modi:

1) - filatura mediante connessione punto-punto
2) - filatura mediante cablaggio.

1) - Filatura mediante connessione punto-punto.

Nel sistema di filatura mediante connessione punto-punto la lunghezza dei conduttori che collegano due terminali è generalmente la più corta possibile (fig. 240). Spesso i resistori, i condensatori ed altri componenti di piccole dimensioni si sostituiscono ad una parte di conduttore che collegano due terminali.

I conduttori di griglia devono essere tenuti lontano dai conduttori di placca per evitare fenomeni di reazione, come pure, i conduttori di alimentazione dei filamenti, se lunghi, devono essere attorcigliati per evitare accoppiamenti induttivi.

Questo sistema di filatura viene normalmente impiegato in apparecchiature di tipo non professionale ed in apparecchiature funzionanti a

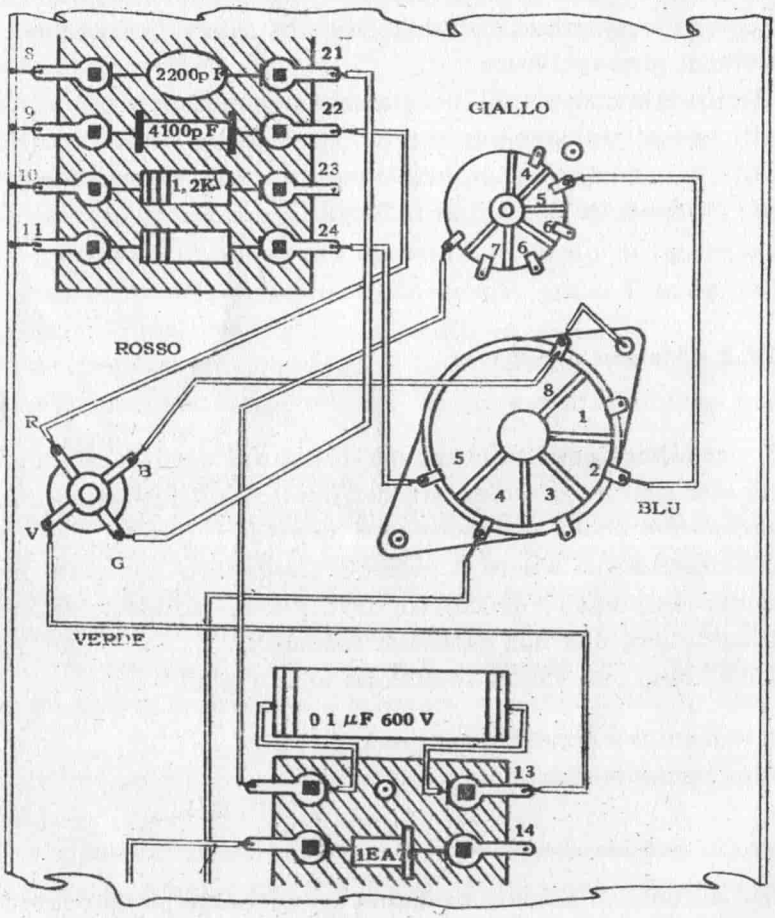


Fig. 240

frequenze elevate. Esso ha il vantaggio di facilitare la ricerca dei guasti in un'apparecchiatura perché permette di identificare e di controllare con estrema facilità i vari elementi di circuito.

2) - Filatura mediante cablaggio.

Il sistema di filatura mediante cablaggio viene in genere utilizzato in apparecchiature per uso militare e di tipo professionale.

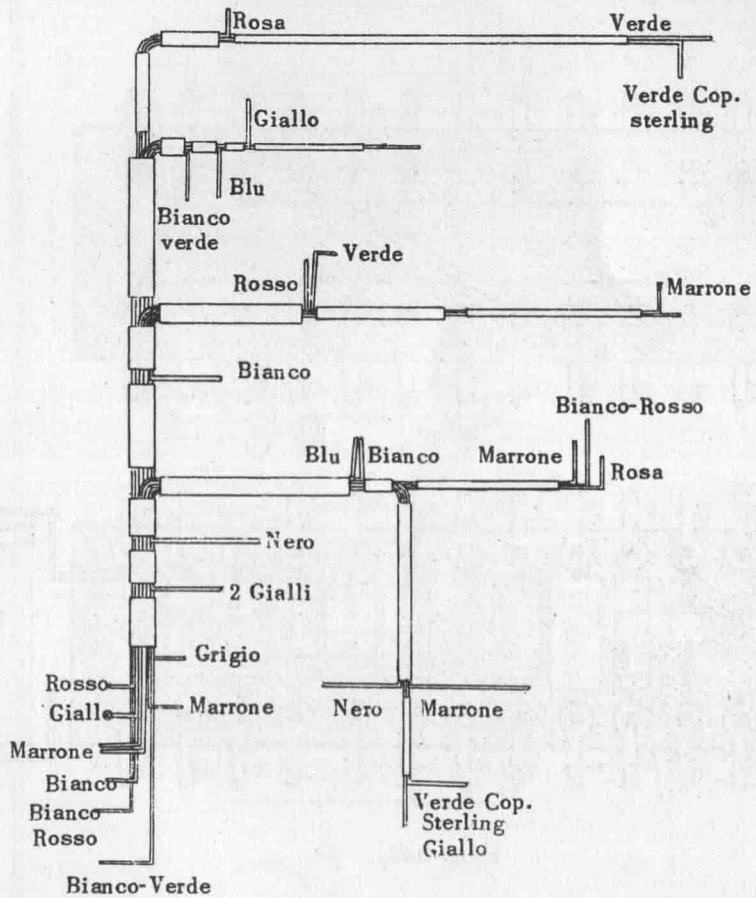


Fig. 241

Questo sistema prende il nome di cablaggio perché tutti i fili vengono raggruppati l'uno accanto all'altro e legati con una cordicella

isolante o mediante nastratura in modo da formare un cavo più o meno rigido (i.g. 241).

I vari componenti come i resistori, i condensatori ecc. vengono raggruppati e fissati su striscie isolanti munite di terminali fig. 242. Queste vengono poi fissate nella parte interna del telaio fig. 243.

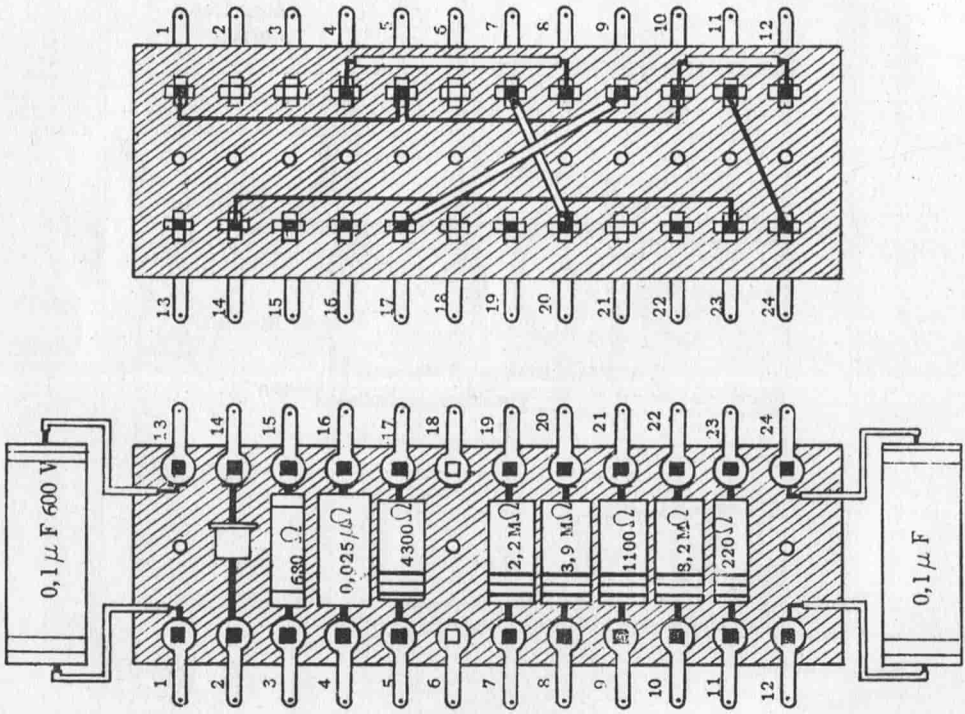


Fig. 242

Quando i conduttori che costituiscono il cablaggio sono lunghi e la forma che essi devono assumere è piuttosto complessa, è necessario, affinché il cablaggio riesca bene, disporre di una tavola di legno sulla quale verrà disegnato il percorso dei conduttori. Fissando opportunamen-

te alcuni chiodi nella tavola, in corrispondenza delle varie curve previste lungo il percorso del cablaggio ed in corrispondenza del punto terminale di ogni singolo filo si potrà eseguire facilmente il cablaggio richiesto.

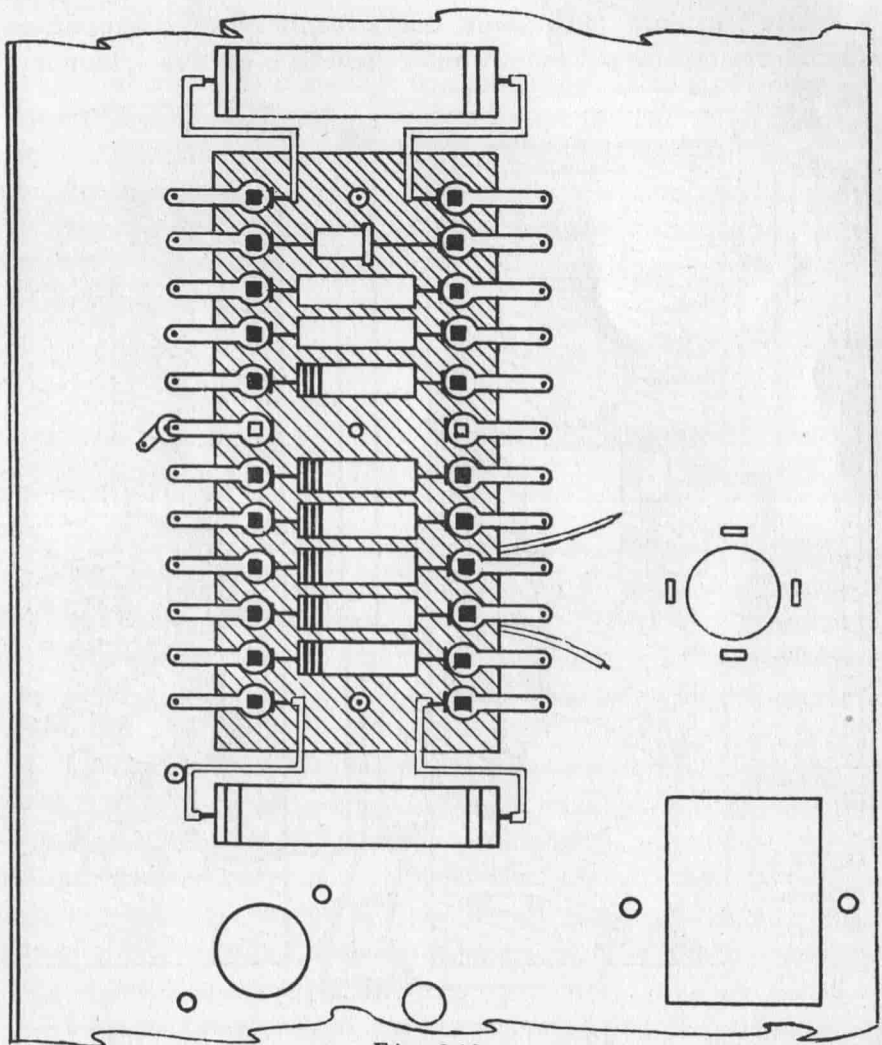


Fig. 243

I terminali dei singoli conduttori appartenenti al cablaggio vengono liberati dall'involucro isolante per una lunghezza di circa 3 cm e

preparati per la successiva operazione di assemblaggio e di collegamento alle pagliette delle varie piastre porta-componenti già fissate sul telaio.

La preparazione dei terminali richiede molta cura; il pezzo di conduttore terminale, già liberato dell'isolante deve essere pulito e stagnato accuratamente per evitare falsi contatti o cattive saldature.

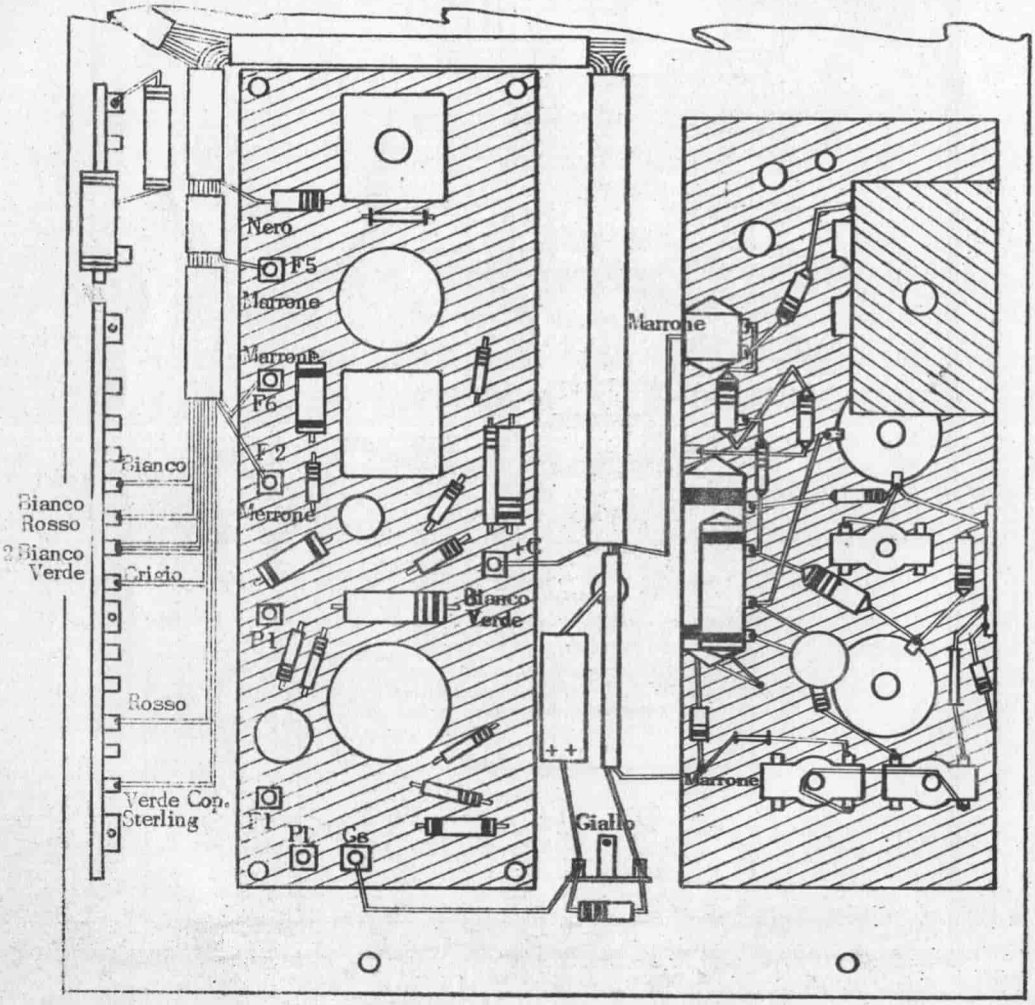


Fig. 244

In alcuni casi i terminali possono essere provvisti di pagliette

terminali di collegamento di forma diversa per facilitare l'operazione di montaggio e smontaggio dei vari elementi che compongono l' apparecchiatura.

Ogni conduttore di cablaggio deve avere una colorazione diversa oppure deve essere provvisto ai terminali di una fascetta di identificazione, generalmente di materiale termoplastico, di diverso colore e numerata per facilitare sia l'operazione di collegamento che la ricerca di guasti. La fig. 244 mostra una parte di apparecchiatura cablata.

Le apparecchiature professionali inoltre sono sempre corredate da un manuale di istruzione completo di schema elettrico dell'apparecchiatura e dello schema di cablaggio e di assemblaggio dei vari elementi che la compongono.

IV.3 - La saldatura.

Prima di esaminare la tecnica della saldatura nel campo delle apparecchiature elettroniche è utile ricordare le proprietà fisiche delle leghe utilizzate a questo scopo.

E' possibile ottenere una gamma estesa di leghe saldanti che praticamente vanno dal piombo puro non saldabile allo stagno puro come mostra la fig. 245.

La composizione fondamentale è l'eutettico stagno-piombo, corrispondente al 63% di stagno ed al 37% di piombo, che fonde a 183° C. Questa lega è solida a 182° C ed è totalmente liquida al 184° C. Alla temperatura di fusione pertanto è presente sia la fase solida che la fase liquinda in proporzioni variabili. E' da notare che il passaggio dalla fase solida alla fase liquida è fortemente endotermica e che il passaggio inverso è al contrario esotermica.

Le altre composizioni non presentano un rapido passaggio dalla fase solida alla fase liquida e viceversa. Il loro punto di fusione per tenori di stagno variabili dal 18 al 27% circa si ottiene passando prima dallo stato solido allo stato pastoso. Le leghe SnPb per temperature

intermedie fra lo stato fuso propriamente detto e lo stato solido contengono una certa percentuale di eutettico liquido nel quale si trovano particelle di composto più ricche di piombo.

In questo stadio intermedio la composizione eutettico lega secondaria varia con la temperatura: la plasticità della massa aumenta fra le due zone comprese fra la fase solida e la fase liquida.

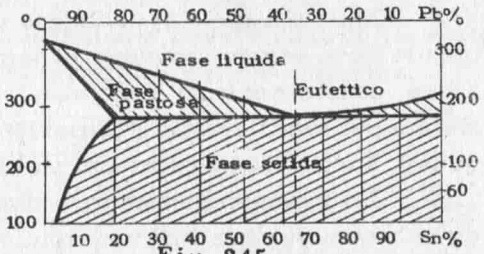


Fig. 245

TABELLA 9

Temperature di fusione delle leghe normalmente utilizzate

Sn %	Sb %	Pb %	Tipo	Temperatura fase solida	Temperatura fase liquida
65		35			
64		36	*65/35*	183°C	185°C
59		41			
60		40	*60/40*	183°C	188°C
50	3	47		185°C	204°C
49	2,5	48,5			
50		50			
49		51	*50/50*	183°C	212°C
45	2,7	52,3		185°C	215°C
44	2,3	53,7			
40	2,4	57,6		185°C	227°C
39	2	59			
40		60			
39		61	*40/60*	183°C	234°C
32	1,8	66,2		185°C	243°C
31	1,7	67,3			
30	1,7	68,3		185°C	248°C
29	1	70			
30		70			
29		71	*30/70*	183°C	255°C

Le leghe più impiegate per la saldatura nelle apparecchiature elettroniche per la loro rapidità di azione sono le leghe 50% Sn - 50% Pb e le leghe 45% Sn - 55% Pb. La tabella 9 riporta le temperature di fusione e la composizione delle leghe normalmente utilizzate.

IV.4 - Il deossidante.

Il materiale deossidante, sotto forma di pasta o contenuto nell'anima del filo di stagno, è destinato ad eliminare le tracce di ossidi che potrebbero presentare i due metalli da saldare ed a proteggere questi durante la saldatura dalle ossidazioni.

Il deossidante deve essere assolutamente neutro e quindi non corrosivo, i residui dopo la saldatura devono rimanere neutri, non igroscopici e di resistività elevata.

Le saldature con il ferro saldatore

Per ottenere delle saldature durevoli e di caratteristiche elettriche costanti nel tempo è necessario usare determinati accorgimenti:

1) - I pezzi da saldare devono essere preparati e collegati meccanicamente in modo sufficiente da mantenerli l'uno contro l'altro per tutta la durata dell'operazione di saldatura. I conduttori poggiati o semplicemente infilati negli occhielli delle pagliette non danno una sufficiente garanzia di collegamento. Le saldature realizzate in questo modo sono accettabili solo in montaggi sperimentali. Le saldature a carattere definitivo devono essere fatte attorcigliando preventivamente il conduttore da saldare alla paglietta.

2) - I terminali una volta collegati assieme meccanicamente saranno portati ad una temperatura di poco superiore a quella di fusione della lega impiegata.

E' importante ricordare che il saldatore ha il compito di riscaldare i terminali da saldare, saranno pertanto questi ad operare la fusione della lega saldante e mai direttamente il saldatore. Trascurando questa precauzione il deossidante fonde prima di raggiungere il terminale da saldare e protegge dall'ossidazione la punta del saldatore ma non il terminale da saldare.

La temperatura del saldatore ha una grande importanza nell'operazione di saldatura. Un saldatore non sufficientemente caldo non permette che di effettuare solo saldature fredde o incollate, la cui aderenza è dovuta generalmente al deossidante o a piccoli punti saldati. Queste saldature tendono col tempo a divenire resistenti e quindi rumorose causando noiosi difetti di funzionamento nelle apparecchiature.

. Se al contrario il saldatore è troppo caldo, la saldatura cristallizza parzialmente durante il raffreddamento, inoltre la rapida volatilizzazione del deossidante non protegge dall'ossidazione il punto di saldatura per tutta la durata dell'operazione. Per evitare questi effetti è essenziale utilizzare un saldatore la cui temperatura di riscaldamento sia proporzionale al tipo di saldatura da effettuare.

La tabella 10 permette di determinare la temperatura ottima del saldatore in funzione del tipo di lega saldante utilizzata.

TABELLA 10

Temperatura ottima del saldatore

Lega	Temperatura fusione	Temperatura saldatore
60/40	188°C	228°C
50/50	212°C	252°C
45/55	215°C	255°C
40/60	234°C	274°C
30/70	255°C	295°C
20/80	275°C	315°C

3) - Il saldatore deve essere tenuto sul terminale da saldare fino alla volatilizzazione completa del deossidante. Se esso viene tolto prima può capitare che alcune particelle di deossidante restano imprigionate nel punto di saldatura. Si ha così una saldatura imperfetta che col tempo può assumere le caratteristiche di una saldatura fredda.

Se al contrario il saldatore viene tenuto troppo a lungo la saldatura cristallizza assumendo tutte le caratteristiche di una saldatura realizzata con saldatore troppo caldo.

Saldature multiple contemporanee mediante bagno

Questo metodo da noi già accennato nel capitolo relativo ai circuiti prefabbricati permette di saldare in una sola operazione un grande numero di conduttori. Questo metodo viene oggi largamente impiegato nella produzione di apparecchiature con circuiti prefabbricati di grande serie.

*

CAPITOLO V

CIRCUITI A BLOCCHI

V.1 - Generalità.

Lo sviluppo dell'automazione nei vari campi dell'industria richiede giorno per giorno la costruzione di apparecchiature professionali sempre più efficienti e sicure anche sotto le più avverse condizioni di temperatura, di umidità e di vibrazioni. In pratica questi requisiti possono essere raggiunti con una accorta progettazione ed una accurata costruzione.

La progettazione e la costruzione di un'apparecchiatura complessa, con un elevato grado di sicurezza di funzionamento può richiedere una grande quantità di tempo e di mano d'opera e quindi raggiungere un elevato costo di produzione senza risolvere completamente il problema per la non facile intercambiabilità delle parti che compongono l'apparecchiatura stessa.

Una soluzione al problema costo ed al problema intercambiabilità è stata trovata dalla tecnica odierna, con l'uso di elementi di circuiti standard detti *circuiti a blocchi*.

Ogni blocco di circuito ha una specifica funzione, con un elevato grado di sicurezza di funzionamento, inoltre esso ha il vantaggio di essere facilmente intercambiabile con altri di caratteristiche analoghe.

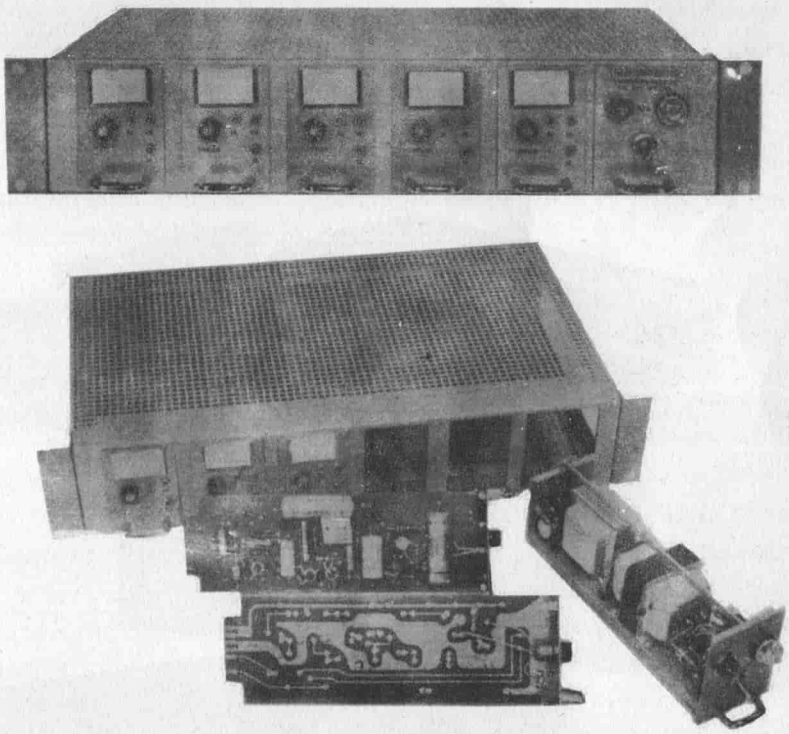


Fig. 246

La costruzione di apparecchiature con *circuiti a blocchi* permette ovviamente un considerevole risparmio di tempo per la progettazione e la costruzione dell'apparecchiatura stessa. Infatti dallo schema a blocchi dell'apparecchiatura, si può passare direttamente all'assemblaggio dell'apparecchiatura stessa se si ha a disposizione, già costruiti, circuiti a blocchi che rispecchiano le caratteristiche e le funzioni dei singoli blocchi dello schema.

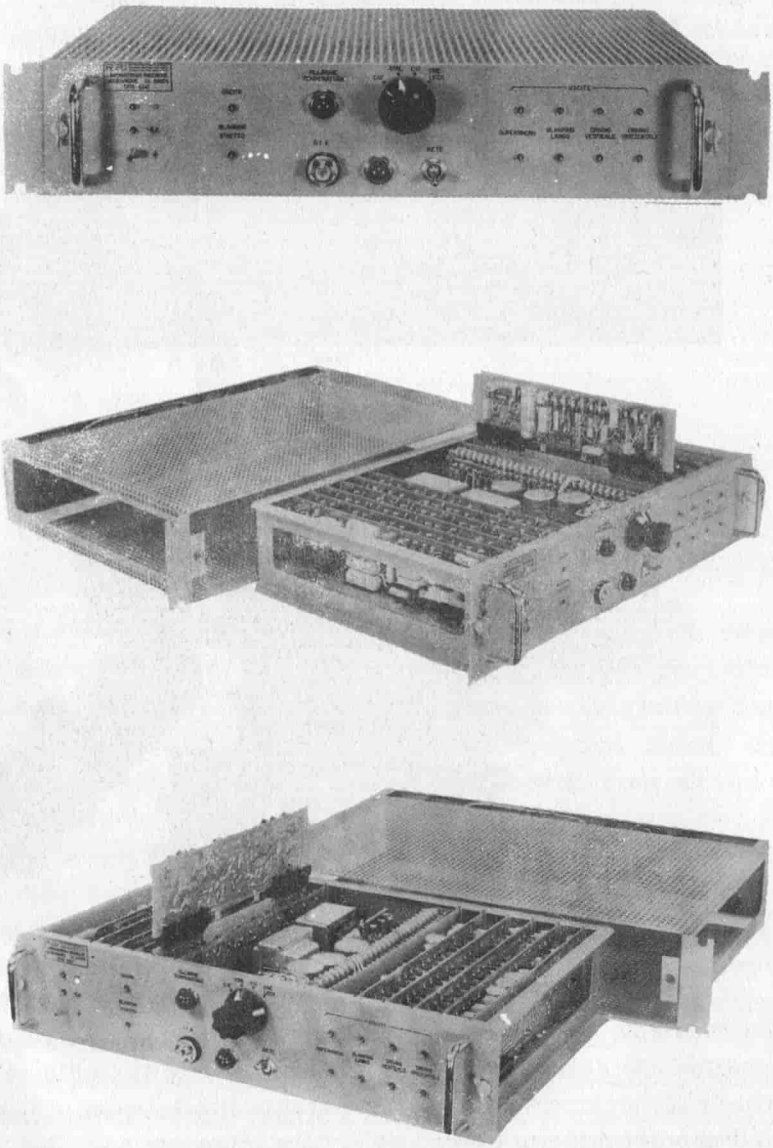


Fig. 247

Un'apparecchiatura così costruita assume un elevato grado di sicurezza di funzionamento e ciò per l'immediata possibilità di sostituzione dei blocchi di circuiti che la compongono.

La fig. 246 mostra un'apparecchiatura con circuiti a blocchi di costruzione RAI.

La fig. 247 mostra un generatore di sincronismi per televisione, di costruzione RAI, con circuiti a blocchi, realizzato su 12 piastre separate a circuito stampato con connettori di raccordo ricavati dal circuito stesso.

Una 13ª piastra di raccordo permette di controllare agevolmente il funzionamento di una piastra alzandola dalle altre in modo da rendere accessibile entrambi i lati della stessa.

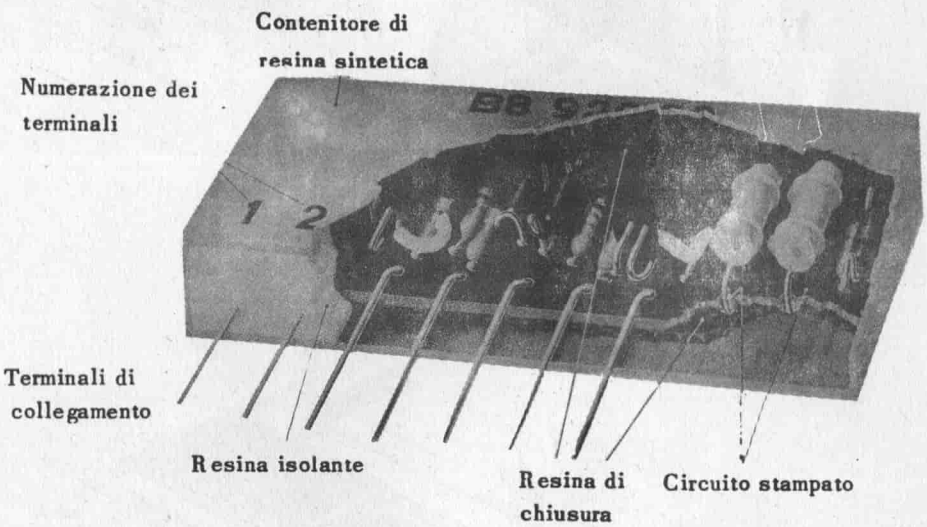


Fig. 248

Sulle piastre stesse dal lato dell'innesto, un opportuno codice a spine non permette errori di inserzione sul contenitore.

La fig. 248 mostra sezionato un elemento di circuito a blocchi di dimensioni standard di costruzione Philips.

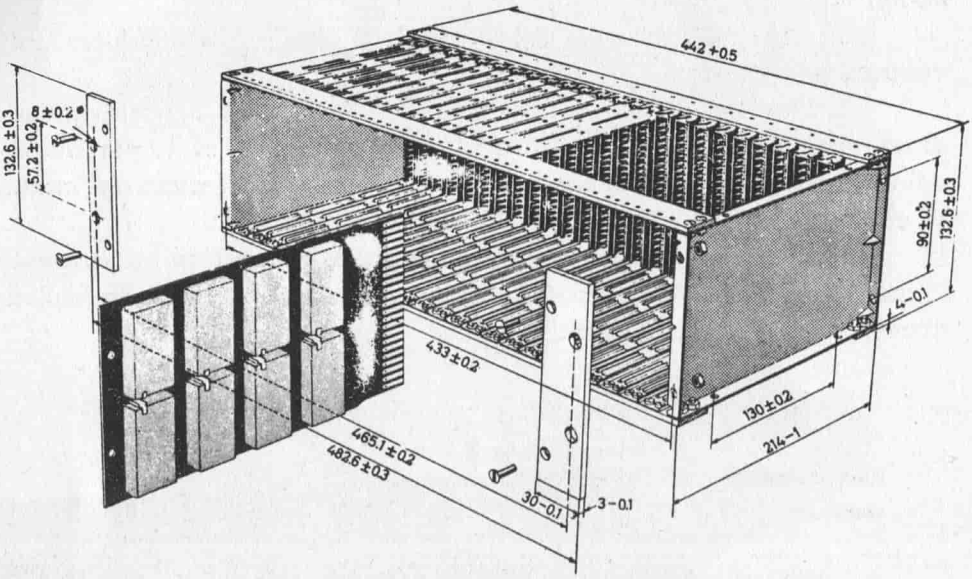


Fig. 249

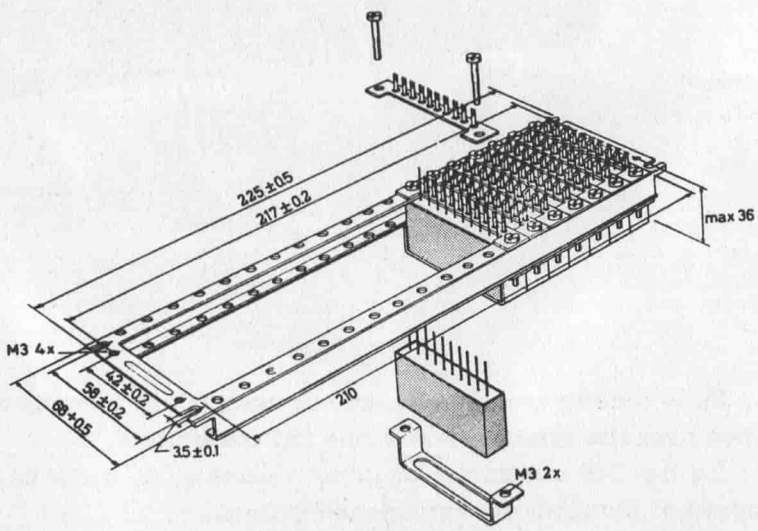


Fig. 250

La fig. 249 mostra un contenitore per *circuiti a blocchi* di costruzione Philips montati su piastre a circuiti stampati complete di connettori.

La 250 mostra la sistemazione su montante, uno a fianco all'altro di *cricuiti a blocchi* Philips.

*

PARTE QUINTA

CAPITOLO I

CENNI SUI PRINCIPI E SUI METODI DELL'ORGANIZZAZIONE TECNICA INDUSTRIALE.

I.1 - Generalità.

Organizzare significa prevedere e predisporre razionalmente la struttura e gli organi di funzionamento necessari per raggiungere uno scopo determinato.

Lo scopo dell'industria è la produzione e lo scopo principale dell'organizzazione industriale è la realizzazione del prodotto finito, dalla cui produzione dipendono le sorti dell'azienda.

Al fine di ottenere il prodotto finito con un elevato rendimento economico l'azienda deve studiare e realizzare il prodotto seguendo un determinato programma costituito da un certo numero di operazioni singole e di controlli di lavorazione ordinati in modo da consentire un ciclo di lavorazione il più semplice e senza soluzione di continuità.

I.2 - Studio del programma di lavorazione.

Una lavorazione che comprende diverse fasi richiede sempre un certo grado di programmazione, cioè una tecnica che permette di prevedere il momento in cui una fase finisce e comincia una fase successiva.

Il preordinamento delle fasi di un processo produttivo viene effettuato dall'ufficio di programmazione e di controllo della produzione che rappresenta il congegno regolatore dell'intera azienda.

L'ufficio di programmazione redige il piano generale di produzione in funzione della richiesta del prodotto e della previsione delle vendite ricavate dalle ricerche di mercato.

Dal piano generale si passa ai piani sempre più particolari, fino ai piani dell'officina che riguardano i singoli prodotti o parti di prodotti. Il costo della preparazione delle macchine incide tanto meno sul prodotto quanto maggiore è il numero dei pezzi prodotti in una volta sola; ma nel materiale dei pezzi in lavorazione si immobilizza un capitale tanto maggiore quanto maggiore è il numero dei pezzi ordinati. Si può quindi determinare il quantitativo che conviene produrre in una sola volta affinché sia minimo il costo unitario del prodotto (serie economica). La figura 251 mostra il diagramma che definisce la serie economica in base al costo di preparazione.

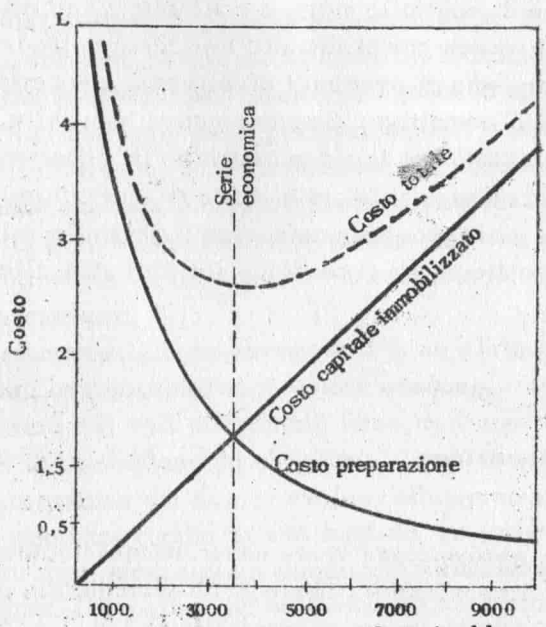


Fig. 251

Sulla base del progetto, e del prototipo eseguito dall'ufficio progetti, l'ufficio tecnico analizza il prodotto, lo scompone in tutti i suoi particolari, per ogni particolare decide il ciclo di lavorazione più conveniente; per ogni operazione elabora le istruzioni necessarie e i disegni delle attrezzature, infine prepara i moduli che ne autorizzano lo svolgimento.

Terminata la preparazione del programma si passa all'esecuzione vera e propria che fissa l'inizio e la fine delle varie operazioni in modo che si succedano senza perdite di tempo, impegnando pienamente i mezzi produttivi e rispettando i termini di consegna.

Durante l'esecuzione del programma possono intervenire dei fattori non previsti tali da deviare il corso dei processi produttivi se non si disponesse di un sistema di controllo con cui seguire lo svolgimento del programma.

Un sistema di controllo mette a confronto i dati previsti per raggiungere un obbiettivo con quelli raccolti nel corso delle lavorazioni. La introduzione nel sistema di eventuali divergenze permette di effettuare le necessarie azioni correttive. Seguono poi: il controllo della produzione, che segue lo stato dei lavori e ne rileva le differenze di produzione rispetto al programma prefissato in modo da introdurre le azioni correttive necessarie sulla programmazione; ed il controllo della qualità, che ha il compito di verificare se il prodotto è conforme alle prescrizioni del progetto.

I.3 - L'automazione.

Il termine *automazione* viene generalmente usato per indicare la concezione, la realizzazione e l'impiego di macchinario o di sistemi di controllo dotati di un alto grado di automaticità.

Queste speciali macchine capaci di eseguire, senza l'aiuto dell'uomo, un determinato ciclo di lavorazioni permettono di ridurre notevolmente gli intervalli di tempo improduttivi fra le varie operazioni. Ciò

giustifica la riduzione del prezzo di costo del prodotto. Infatti il prezzo di costo è definito dalla relazione: $N \times \tau$ ove N è il numero di ore di lavoro impiegate e τ è il costo medio orario del lavoro. Per ridurre il prezzo è necessario pertanto ridurre uno dei due fattori.

Il fattore τ è poco riducibile perché limitato dal costo minimo della mano d'opera; deriva quindi che l'unico fattore da ridurre è il fattore N. La riduzione di N costituisce la caratteristica dei moderni procedimenti produttivi.

1.4 - Elaboratori elettronici.

I moderni sistemi di produzione, organizzati in modo che i materiali passino attraverso le fasi successive di lavorazione con poca o nessuna assistenza da parte dell'uomo, provvedendo automaticamente alla regolazione ed al controllo delle prestazioni del macchinario entro i limiti prefissati richiedono l'ausilio di speciali apparecchi, detti *Elaboratori elettronici* che elaborano automaticamente le informazioni ad essi prevenute, di solito sotto forma di numeri, dai vari organi di controllo e le traducono in ordini impartiti per controreazione agli organi di comando del macchinario.

Concettualmente il funzionamento di un elaboratore elettronico è semplice; i dati immessi nell'elaboratore vengono tradotti in impulsi elettrici e smistati nei vari componenti base dell'apparecchiatura in funzione del tipo di operazione da eseguire.

L'elaborazione dei dati si svolge attraverso una serie di operazioni, la cui sequenza risulta determinata da un ***programma*** comunicato all'elaboratore per mezzo di un linguaggio particolare proprio di ciascun tipo di macchina. Il programma non è altro che una sequenza di ***istruzioni*** che, tradotte in impulsi elettrici, vengono memorizzate dall'elaboratore ed abbinate, su comando dell'operatore, ai dati da elaborare per effettuare le operazioni richieste.

La programmazione, partendo dallo stato attuale del sistema, predispone una serie di atti di regolazione per portare il sistema agli obbiet-

tivi prestabiliti, ciò non può avvenire istantaneamente ma richiede un certo tempo, che è chiamato tempo base del sistema.

La regolazione di un qualunque sistema tecnico-organizzativo è l'insieme degli atti, che tenendo conto del modo di reagire del sistema, servono a farlo evolvere secondo gli scopi voluti, in presenza di eventi che imprimono al sistema stesso andamenti contrari agli obiettivi, essa si basa sui concetti di controllo e di regolazione. Il controllo verifica che il sistema, sotto l'azione degli atti previsti dal programma, evolve effettivamente con le modalità volute.

Esempio di un moderno sistema di produzione.

In un sistema moderno di produzione pilotato e controllato da un elaboratore elettronico si distinguono:

1) - Il magazzino materie prime

2) - i reparti produttivi

3) - le linee di montaggio

4) - i magazzini intermedi di particolari finiti e di componenti che hanno la funzione di armonizzare il flusso della produzione

5) - i reparti di lavorazione

6) - il magazzino dei prodotti finiti.

La fig. 252 mostra lo schema del sistema di produzione e l'andamento qualitativo del tempo base di risposta lungo il sistema.

Il tempo di risposta è il tempo che intercorre tra l'inizio di un'azione sul sistema ed il manifestarsi della sua reazione: ad esempio; nel caso di un'officina, è il tempo che intercorre tra la richiesta e la consegna di un prodotto finito. Questa grandezza è molto importante per stabilire la periodicità delle lavorazioni.

Dalla fig. 252 si vede che il tempo di risposta del magazzino prodotti finiti è dell'ordine del giorno e sue frazioni. Invece all'inizio del ciclo, il tempo che può intercorrere tra l'emissione dell'ordine, per un certo materiale, ed il momento in cui esso potrà raggiungere le filiali come prodotto finito può essere di alcuni mesi.

Il funzionamento del sistema si basa sulla rilevazione immediata dei dati produttivi all'origine, senza escludere limitate elaborazioni locali che avvengono all'atto del rilievo dell'informazione periferica. Il si-

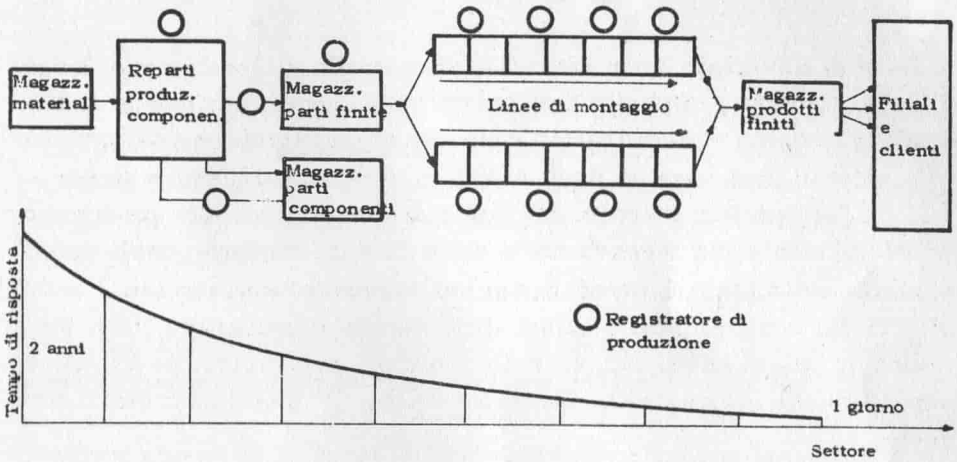


Fig. 252

stema utilizza un elaboratore elettronico ed una vasta rete di apparecchiature periferiche automatiche che coprono una gamma di distanze molto ampia, da centinaia di metri a centinaia di chilometri.

Utilizzando questo sistema:

I magazzini di materiali mantengono una contabilità locale costantemente aggiornata nella quale viene analizzata la situazione di ciascun materiale per emettere automaticamente, se necessario, con l'utilizzo di tecniche di Ricerca Operativa, un ordine al fornitore od una proposta di acquisto.

L'analisi è molto fine in quanto si distinguono numerosi stadi per materiale: ordinato; ricevuto e non controllato; ricevuto e controllato; scartato, a scaffale. La gestione è per eccezione in quanto, pur analizzando ogni materiale, si mettono in evidenza soltanto quelli che richiedono interventi. L'elaboratore emette l'ordine sulla base di una previsione di consumo continuamente aggiornata e di un sistema di approvvigionamento da lui memorizzato per ogni materiale: quanto ordinare; a quale

fornitore; con quale cadenza di consegna; prepara automaticamente tutta la documentazione per il ricevimento, il collaudo, i controlli e il pagamento delle fatture.

Le linee di montaggio sono provviste di controlli di lavorazione, lungo le linee, con una periodicità sufficiente e su un numero adeguato di traguardi in modo da consentire una conoscenza sufficientemente precisa dello stato di avanzamento degli ordini di lavorazione lungo le linee.

L'elaboratore calcola, all'inizio di ogni mese, un programma mensile di montaggio tenendo conto delle date di consegna degli ordini acquisiti delle priorità tra gli ordini per esigenze commerciali, della velocità dei convogliatori e quindi della capacità produttiva; tale programma ha valore esecutivo, ed indica, giorno per giorno, le macchine da montare che in questa sede ricevono anche il proprio numero di matricola.

Lungo le linee di montaggio sono opportunamente dislocati dei registratori di produzione, che rilevano su nastro perforato il passaggio dei gruppi o delle unità di montaggio; i nastri affluiscono al centro elettronico dopo la chiusura dei turni ad esso elabora per l'inizio del giorno seguente un prospetto molto analitico che confronta il programma con la situazione di avanzamento dei numeri di matricola in ritardo; esso viene distribuito ai capi interessati per le opportune azioni correttive, ed altresì al reparto spedizioni; versioni più sintetiche vengono distribuite ai capireparti ed uffici commerciali. I registratori di produzione vengono anche utilizzati per rilevare i dati analitici che permettono al centro elettronico di calcolare i cottimi per le linee di montaggio.

I magazzini di particolari finiti e di parti componenti costituiscono dei polmoni col compito di armonizzare, il funzionamento dei reparti, che lavorano per serie economiche, ed il montaggio, che lavora in modo continuo. Essi riescono ad adempiere alla loro funzione analizzando con sufficiente rapidità la situazione di ciascun tipo di componente da assemblare.

L'elaboratore calcola, per mezzo di una distinta base, l'assorbimento in pezzi/ora per ciascun particolare finito; ogni voce del magazzino viene quindi analizzato in base a questo assorbimento, per arrivare, con i metodi già descritti, ad emettere gli ordini di lavorazione fra i reparti per serie economiche, determinate dal calcolatore sulla base di numerosi dati tecnici ed economici.

Anche qui viene automaticamente preparato per ciascuna serie; ricorrendo ai dati memorizzati nel nastro magnetico cicli di lavorazione, tutta la documentazione esecutiva che permette il prelievo dei materiali, degli attrezzi e la registrazione automatica del movimento lungo i reparti di lavorazione.

I reparti di lavorazione forniscono dati giornalieri sulla quantità lavorata di ciascun particolare e la posizione del materiale lungo i reparti a fine giornata. Sulla base di questi dati viene stampato un prospetto giornaliero che mette in grado il capo reparto di prendere i necessari provvedimenti; contemporaneamente ai dati di produzione vengono rilevati i dati relativi al cottimo che permettono di stampare i bollettini per la discussione del cottimo che costituisce uno degli elementi per l'elaborazione mensile di liquidazione delle paghe.

I magazzini dei prodotti finiti controllano il movimento dei prodotti finiti verso i magazzini periferici e verso le filiali. L'analisi delle situazioni dei magazzini periferici, degli ordini ricevuti, degli ordini da evadere fornisce gli elementi per decisioni di riapprovvigionamento dei magazzini e trasferimenti tra gli stessi.

Dal breve esame di funzionamento di un moderno sistema di produzione risultano evidenti i vantaggi ottenuti dalla produzione con l'introduzione degli elaboratori elettronici.

*

1.6 - Grado di fiducia delle apparecchiature e dei componenti elettronici.

Si chiama grado di fiducia di un'apparecchiatura o di un componente elettronico la probabilità che esso fornisca, per un certo periodo di tempo, le prestazioni effettive richieste dalle condizioni di esercizio.

I parametri principali che definiscono il grado di fiducia sono:

1) - Il numero dei pezzi preso in considerazione ed il loro compito.

2) - Le condizioni di funzionamento date.

3) - L'intervallo di tempo assegnato .

Sottoponendo le apparecchiature ed i componenti ad una serie di prove si rilevano dai risultati di queste, in funzione dei parametri assegnati, un certo numero di indici che esprimono il grado di fiducia della apparecchiatura o del componente in esame.

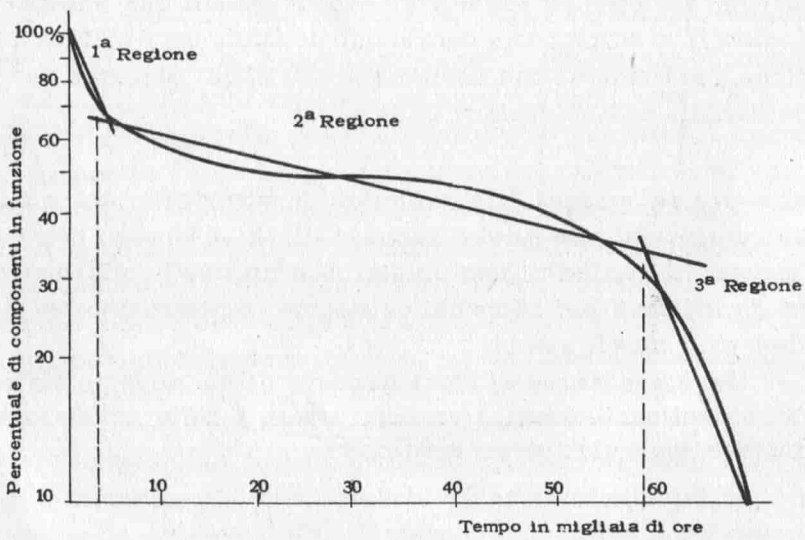


Fig. 253

Il grado di fiducia si esprime con un numero compreso fra 0 e 1 o più comunemente in percentuale).

Gli indici di maggiore interesse ai fini della valutazione del grado di fiducia, ricavati da apparecchiature e da componenti sottoposti ad un servizio continuativo o ad un lungo periodo di servizio con brevi intervalli di riposo, sono la vita media o tempo medio di servizio ininterrotto ed il suo inverso o frequenza media delle avarie determinabili con una prova di vita.

Si può ricavare così il diagramma in fig. 253 che riporta in percento il numero dei componenti in esercizio in funzione del tempo.

Questa curva può essere approssimata e suddivisa in tre regioni principali:

1) - La prima regione comprende il periodo di assestamento nel quale cedono i componenti difettosi o quelli funzionanti irregolarmente per errata progettazione. Questa regione può estendersi, a seconda dei casi, da qualche decina a qualche centinaio di ore.

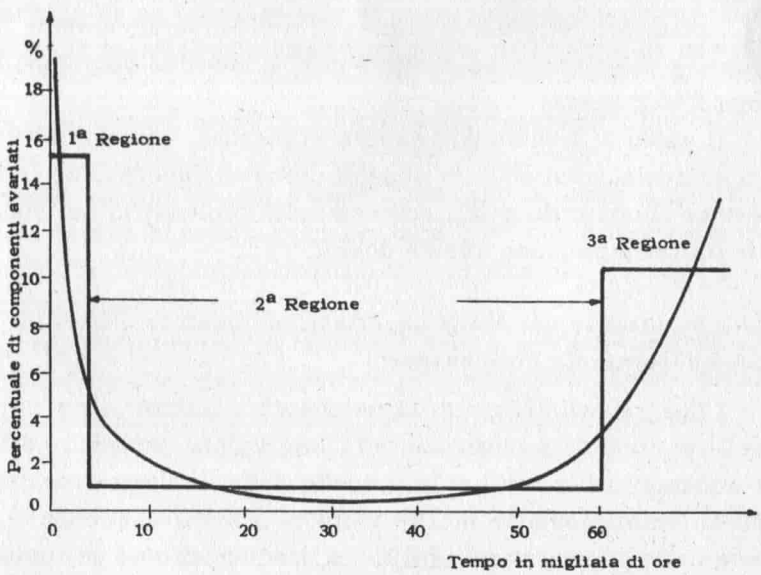


Fig. 254

2) - La seconda regione comprende il periodo durante il quale le avarie sono dovute a cause essenzialmente casuali.

3) - La terza regione comprende il periodo durante il quale il numero delle avarie aumenta esponenzialmente con il tempo a causa del contemporaneo invecchiamento dei componenti stessi.

La fig. 254 ricavata dalla fig. 253, riporta in percento il numero dei componenti che hanno ceduto alla prova di vita in funzione del tempo. In essa sono riportate tratteggiate le tre regioni sopra specificate.

Ovviamente si cerca di ridurre al minimo la regione 1 (questo si può ottenere selezionando preventivamente i vari componenti) e di allargare il più possibile la regione 2 (questo si può ottenere con una rigorosa progettazione dell'apparecchiatura e con una oculata scelta dei materiali e dei dispositivi che compongono l'apparecchiatura stessa). Ne risulta pertanto che il grado di fiducia di un'apparecchiatura elettronica dipende essenzialmente dalla qualità delle parti che la compongono (tubi elettronici, transistori, resistori, condensatori ecc.), dalla quantità e dalla complessità dei suoi circuiti. Esso diminuisce con l'aumentare della quantità dei componenti impiegati nell'apparecchiatura e con la complessità del circuito ed aumenta con l'aumento del grado di qualità dei componenti stessi.

Il grado di fiducia può essere migliorato, qualche volta anche in misura notevole, adottando in sede di progetto opportuni accorgimenti che consentono il controllo e la riduzione della probabilità dei guasti. Questi ultimi infatti possono essere dovuti:

1) - Alla variazione dei limiti accettabili di qualche parametro importante di un determinato componente.

I componenti utilizzati in un'apparecchiatura sono scelti a caso tra quelli di normale produzione, ed i loro valori possono differire da quelli nominali utilizzati per la progettazione dell'apparecchiature stessa. Questi valori possono inoltre variare durante l'esercizio, anche in funzione delle sollecitazioni elettriche, meccaniche ed ambientali.

La sommatoria di questi effetti può far superare all'apparecchiatura il limite massimo di normale funzionamento. Le avarie di questo tipo si possono eliminare quasi completamente selezionando uno per uno i singoli componenti.

Questa procedura può risultare non pratica industrialmente ed inoltre è fortemente antieconomica.

2) - All'avaria di componenti

La vita di un componente è legata, come abbiamo detto, sia alle sollecitazioni di carattere elettrico, sia alle sollecitazioni di natura meccanica ed ambientale alle quali è sottoposto durante l'esercizio.

Maggiore sarà il livello delle sollecitazioni, minore sarà la vita del componente e maggiore sarà la probabilità che l'apparecchiatura vada in avaria.

Infatti se facciamo funzionare due apparecchiature identiche, una in modo continuativo e con sollecitazioni elettriche ed ambientali costanti e l'altra in modo discontinuo e con sollecitazioni elettriche ed ambientali variabili, vedremo che quella in servizio continuativo avrà un grado di fiducia ed un tempo di vita di gran lunga superiore all'altra apparecchiatura di identiche caratteristiche ma utilizzata in servizio discontinuo.

Un aumento del grado di fiducia delle apparecchiature si può ottenere prevedendo elementi di riserva che manualmente od automaticamente possono sostituirsi agli elementi entrati in avaria. Si riducono così a pochi istanti le interruzioni per avaria e contemporaneamente si ha la possibilità di riparare e controllare con comodo e quindi con maggior cura l'elemento avariato.

La seguente tabella 10 riporta il valore percentuale probabile di alcuni componenti che possono entrare in avaria entro un determinato numero di ore, in condizioni normali di funzionamento di tensione e di temperatura.

TABELLA 11

Probabile percentuale di componenti che possono entrare in avaria entro un periodo di funzionamento continuo di 10^4 ore alle condizioni normali di esercizio

Componente	Percentuale		
	Minima	Media	Massima
Accumulatori	0,40	7,2	19,3
Antenne	0,48	2,0	3,52
Batterie ricaricabili	0,5	1,4	14,29
Armadi contenitori	0,003	0,03	0,330
Cablaggi	0,002	0,02	0,170
Condensatori fissi con $V_L < 600$ Volt	0,001	0,01	0,018
Condensatori fissi con $V_L > 500$ Volt	0,02	0,2	0,486
Condensatori fissi con $V_L > 1000$ Volt	0,1325	1,325	2,385
Condensatori ceramici	0,063	0,1	0,213
Condensatori a mica	0,018	0,075	0,132
Condensatori a mica argentata	0,025	0,083	0,141
Condensatori con dielettrico Nylon $V_L = 300 \div 600$ Volt	0,006	0,01	0,014
Condensatori a carta in olio	0,12	0,30	0,48
Condensatori a carta	0,016	0,025	0,034
Condensatori elettrolitici	0,003	0,035	0,054
Condensatori a tantalio	0,08	0,10	2,10
Condensatori variabili	0,09	0,1625	0,28
Condensatori variabili ceramici	0,08	0,155	0,35
Induttanze di filtro	0,012	0,03	0,25
Induttanze a radio fraquenza	0,005	0,01	0,05
Induttanze di accordo	0,0142	0,15	0,2858
Cristalli oscillatori	0,10	0,60	1,1
Linee di ritardo fisse	0,08	0,1	0,25
Linee di ritardo variabili	0,22	3,00	4,62
Diodi a valvola	0,15	0,2	1,42
Diodi al germanio	0,23	0,3	0,38
Diodi al selenio	0,11	0,2	0,6

Compomente	Percentuale		
	Minima	Media	Massima
Diodi al silicio	0,15	0,2	0,25
Fusibili	0,008	0,02	0,10
Isolatori	0,03	0,05	0,08
Lampade incandescenti	5,20	8,00	32,0
Lampade al Neon	4,50	10,25	18,8
Amplificatori magnetici	0,02	0,085	0,855
Magneti	2,02	5,65	7,11
Strumenti elettrici di misura	1,35	1,375	5,77
Motori elettrici	0,11	0,3	0,58
Potenziometri	0,70	3,0	12,5
Potenziometri con deposito carbonioso	0,10	0,25	0,75
Potenziometri miniatura	0,72	1,2	2,00
Rettificatori al selenio	0,32	1,1625	1,60
Relè per usi generali	0,10	0,25	0,48
Relè miniatura	0,42	0,7	1,13
Relè di potenza	0,15	0,3	4,10
Relè termici	0,12	0,4	1,0
Resistori con deposito carbonioso	0,11	0,25	0,57
Resistori ad impasto carbonioso	0,017	0,043	0,15
Resistori di potenza	0,009	0,028	0,065
Interruttori	0,009	0,05	0,14
Termistori	0,20	0,6	1,40
Trasduttori	20,0	0,30	45,0
Trasformatori	0,07	0,2	0,62
Trasformatori per audiofrequenze	0,01	0,02	0,04
Trasformatori per frequenze intermedie	0,035	0,1	0,31
Trasformatori per uscita e di potenza	0,46	1,04	2,08
Transistori	0,38	0,61	1,02
Transistori al germanio	0,60	0,9	1,91
Transistori al silicio	0,27	0,5	0,86
Transistori usati come interruttore	0,10	0,4	0,71
Tubi a raggi catodici	0,94	1,65	3,10

Componente	Percentuale		
	Minima	Media	Massima
Tubi elettronici-diodi	0,24	0,80	2,20
Tubi elettronici-triodo	0,67	1,3	2,25
Tubi elettronici tetrodi	0,88	1,6	2,9
Tubi elettrinici di potenza	12,0	20,0	40,0
Tubi thyratron di piccola potenza	3,5	6,0	15,0
Tubi thyratron di potenza	13,0	15,0	41,0
Tubi regolatori di tensione	0,13	0,35	7,1
Tubi elettronici riceventi	1,5	2,0	3,4
Tubi riceventi miniatura	2,1	3,08	5,7
Tubi elettronici subminiatura	0,78	2,6	4,31

*

CAPITOLO II

NOMALIZZAZIONE DEI COMPONENTI E DELLE APPARECCHIATURE ELETTRONICHE

II.1 - Generalità.

Per assicurare le prestazioni delle apparecchiature elettroniche e dei componenti in tutte le condizioni prevedibili, ma specialmente nei casi di emergenza quando il loro funzionamento è di vitale importanza, è necessario sottoporre le apparecchiature e le parti componenti relative a collaudi esaurienti nelle più svariate condizioni climatiche e sotto sollecitazioni meccaniche.

Alcune norme estere, come quelle JAN e MIL americane e DIN tedesche, contengono già prove di questo genere relative ai componenti.

In Italia il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) ispirandosi alle norme militari straniere ha compilato le norme per l'accettazione, il collaudo, e l'unificazione di materiali, strumenti, apparecchi, ecc. per usi tecnici e scientifici per il settore elettrotecnico ed elettronico.

Nelle specifiche di normalizzazione i componenti elettronici sono in generale classificati in un certo numero di categorie, a seconda della loro maggiore o minore idoneità a resistere a sollecitazioni climatiche e meccaniche e talora in classi caratteristiche, a seconda dalla lo-

ro minore o maggiore stabilità alle variazioni termiche. Per ogni categoria o classe sono specificate le caratteristiche elettriche e meccaniche ed i limiti entro i quali debbono essere mantenute le alterazioni di queste al variare delle condizioni ambientali.

II.2 - Prove climatiche e meccaniche.

Le norme CEI 40-1 descrivono i procedimenti da adottare per le prove climatiche e meccaniche, applicabili generalmente alle parti componenti di apparecchiature elettroniche, allo scopo di ottenere informazioni sulla resistenza delle parti componenti all'azione dei seguenti fattori: clima, altitudine, intemperie, microorganismi, magazzinaggio, sollecitazioni durante il montaggio, sollecitazioni durante l'impiego.

Riportiamo qui di seguito alcune delle prove elencate nelle suddette Norme CEI.

A) - Prova di resistenza alle basse temperature.

La camera usata per questa prova deve essere in grado di mantenere in tutti i punti dove sono collegati i componenti in prova la temperatura di - 55, - 40 - - 25 oppure -10° C con una tolleranza di ± 3° C.

I componenti vanno messi nella camera quanto questa ha già raggiunto la temperatura prescritta per la prova e tenuti in essa per la durata di 6 ore.

Gli eventuali collaudi da effettuare durante questa prova vanno eseguiti mentre i componenti sono ancora alla temperatura prescritta.

Gli eventuali collaudi da effettuare dopo questa prova vanno eseguiti dopo che i componenti siano rimasti nelle condizioni atmosferiche normali (t = 20 ± 2° C, U.R. 75 ± 2% ; pressione = 9,30 ÷ 10,60 N/cm^2) per l'assestamento per non meno di 1 ora e non più di 2 ore.

B) - Prova di resistenza alle alte temperature.

La camera usata per questa prova deve essere in grado di mantenere in tutti i punti dove sono collocati i componenti in prova la temperatura di 150 + 125 + 100 + 85 + 70°C con una tolleranza di ± 2° C.

L'umidità relativa non deve superare il 5% .

I componenti vanno messi nella camera alla temperatura prescritta e mantenuti per la durata di 16 ore.

Gli eventuali collaudi vanno eseguiti mentre i componenti sono ancora alla temperatura prescritta.

Gli eventuali collaudi da effettuare dopo questa prova vanno eseguiti con le modalità di cui alla prova (1).

C) - Prova di resistenza al caldo-umido (prova prolungata).

La camera usata per questa prova deve presentare le seguenti caratteristiche:

- per i gradi di severità IV, V e VI deve essere possibile variare ciclicamente la temperatura in tutti i punti dove sono collocati i componenti tra + 35 ± 2° C e + 25 ± 2° C.
- per il grado di severità VII, di mantenere la temperatura a + 35 ± 2° C.

L'aria interna deve essere mantenuta in circolazione.

Per i gradi di severità IV, V, VI (tabella 2) la temperatura superiore deve essere mantenuta per 12 ore e quella inferiore per non meno di 5 ore, completando il ciclo in 24 ore.

L'umidità relativa deve essere compresa tra 95 e 100% per i gradi di severità IV, V, VI e tra 85 e 90% per il grado di severità VII.

I componenti vanno sottoposti alle condizioni prescritte rispettivamente per 84, 28 o 7 giorni per i gradi di severità IV, V, VI e per 28 giorni per il grado VII.

Gli eventuali collaudi vanno eseguiti mentre i componenti sono ancora alla temperatura sopra specificata per i diversi gradi di severità mentre i collaudi da effettuare dopo la prova vanno eseguiti con le modalità di cui alla prova (1).

TABELLA 12

Elenco delle prove e relativi gradi di severità previsti dalle Norme CEI 40 - 15 giugno 1956 per i componenti elettronici

Le singole prove sono contrassegnate da lettere maiuscole; prove combinate sono indicate con lettere delle singole prove dalle quali sono composte. I gradi di severità sono contrassegnati con numeri romani, usando i numeri più bassi per le prove più severe.

PROVE		GRADI DI SEVERITÀ		Riferimenti al testo
Sigla	Denominazione	Sigla	Condizioni	
A	Freddo	IV V VI VII	- 55°C - 40°C - 25°C - 10°C	da 2.1.01 a 2.1.03
B	Caldo secco	IV V VI VII	+ 100°C + 85°C + 70°C + 55°C	da 2.2.01 a 2.2.03
C	Caldo umido (prova prolungata;	IV V VI VII	35 e 25°C u.r.: 95...100% durata: 84 giorni 35 e 25°C u.r.: 95... 100% durata 28 giorni 35 e 25°C u.r.: 95...100% durata 7 giorni 30°C u.r.: 85... 90% durata: 28 giorni	da 2.3.01 a 2.3.03 u.r. significa umidità relativa
D	Caldo umido (prova accelerata)	IV	55°C u.r.: 95...100% 6 cicli di 24 ore	

	PROVE	GRADO DI SEVERITÀ		Riferimenti al testo
Sigla	Denominazione	Sigla	Condizioni	
		V	55°C u.r.: 95...100% 2 cicli di 24 ore	da 2.4.01 a 2.4.03
		VI	55°C u.r.: 95...100% 1 ciclo di 24 ore	
E	Scosse	IV	accelerazione: 50 g numero totale delle scosse: 10000	
		V	accelerazione: 35 g numero totale delle scosse: 10000	da 2.5.01 a 2.5.03
		VI	accelerazione: 25 g numero totale delle scosse: 10000	$g = 9{,}81\ ms^{-2}$
		VII	accelerazione: 15 g numero totale delle scosse: 10000	
F	Vibrazione (in condiz. di risonanza)		Ricer. delle risonanze: f = 10...160 Hz ampiezza 0,1 mm condizioni di prova: f 50 Hz accelerazione 10 g ampiezza $2500/f^2$ mm f 50 Hz ampiezza 1 mm	da 2.6.01 a 2.6.03
G	Vibrazione a frequenza variabile		Freq. 10...56 Hz ampiezza 1 mm 100 cicli di 1 min freq. 50...112 Hz ampiezza 0,25 mm 100 cicli di 1 min freq. 100...160 Hz ampiezza 0,125 mm 100 cicli di 1 min	2.7.01 e 2.7.02
H	Magazzinaggio			2.8.01
J	Muffa			2.9.01

	PROVE	GRADO DI SEVERITÀ		Riferimenti al testo
Sigla	Demoninazione	Sigla	Condizioni	
K	Atmosfera salina	IV V	28 giorni 14 evaporaz. 3 giorni 3 evaporaz.	2.1.01
L	Sabbia			2.11.01
M	Pressione bassa	IV V	0,85 $\frac{N}{cm^2}$ (64 mm Hg) 3,00 $\frac{N}{cm^2}$ (225 mm Hg)	da 2.12.01 a 2.12.03
N	Variazione rapida della temperatura			2.13.01 e 2.13.02
P	Immersione			2.14.01 e 2.14.02
Z	Prove sui terminali			da 2.15.01 a 2.15.06
AE	Freddo con scosse		Prova A e prova E numero totale delle scosse ridotte a 100	3.1.01 e 3.1.02
BE	Caldo secco con scosse		Prova B e prova E numero totale delle scosse ridotto a 1000	3.2.01
AB DE	Cicli climatici			3.3.01

Se per una prova non sono indicati i valori di temperatura, umidità relativa o pressione, questi devono rimanere nei limiti indicati per le «Condizioni atmosferiche normali per prove».

D) - Prova di resistenza al caldo umido (prova accelerata).

La camera usata per questa prova deve essere in grado di mantenere, in tutti i punti dove sono collocati i componenti in prova, una temperatura compresa tra 53 e 57°C variabile periodicamente di 2°C almeno 4 volte all'ora e rimanendo entro i limiti sopra indicati.

L'umidità relativa deve essere compresa tra 95 ÷ 100% . Ogni ciclo di prova deve avere la durata di 24 ore.

I componenti vanno assoggettati per 16 ore alle condizioni sopra indicate dopo di che le sorgenti di calore e di umidità vanno staccate e la camera lasciata raffreddare mantenendo però la circolazione d'aria.

Gli eventuali collaudi vanno eseguiti mentre i componenti sono ancora alle temperature di cui sopra; mentre i collaudi da effettuare dopo la prova vanno eseguiti con le modalità di cui alla prova (1).

E) - Prova di resistenza alle scosse.

La macchina per le scosse consiste in un tavolo robusto, sul quale vengono montati i componenti in prova e di un dispositivo per alzare il tavolo e lasciarlo cadere liberamente su un supporto rigido, a intervalli regolari, in modo di ottenere una determinata accelerazione negativa di frenatura.

Le altezze di caduta devono essere determinate in maniera da ottenere i valori di accelerazione prescritti per i vari gradi di severità (tabella 2).

La taratura delle macchine si effettua con il metodo Brinell: al centro del tavolo cadente si monta una piastra di alluminio dello spessore di 3 mm sulla quale poggia una sfera di acciaio del diametro di 3,97 mm; su questa, a sua volta, poggia un cilindro di acciaio del peso di 1 kg. Quando il tavolo cade da una certa altezza, il cilindro premendo sulla sfera produce una impressione nella piastra di alluminio.

Si preme poi il cilindro con la sfera staticamente contro un altro punto della piastra d'alluminio, finché si ottiene una seconda impressione di diametro uguale alla prima.

L'accelerazione, espressa come multiplo di g (9,81 m/sec^2), si assume numericamente uguale allo sforzo di compressione statico espresso in kg necessario per ottenere una impressione uguale a quella prodotta dalla caduta.

A parità di altezza della caduta, l'accelerazione di frenatura varia col peso cadente. Si può facilitare l'uso della macchina costruendo

una serie di curve che diano l'altezza della caduta necessaria in funzione del peso del materiale in prova con le accelerazioni come parametro.

Il numero di scosse al minuto deve essere scelto in modo che il piano della macchina riesca a fermarsi nell'intervallo tra due scosse. I componenti vanno montati, con il loro normale metodo di fissaggio, in tre gruppi in modo tale che le scosse vengano applicate secondo tre assi ortogonali, un gruppo per ogni asse.

La prova va effettuata in condizioni atmosferiche normali.

F) - Prova di resistenza alle vibrazioni in condizioni di risonanza.

La macchina utilizzata è costituita da un tavolo vibrante capace di eseguire vibrazioni praticamente sinusoidali in una gamma di frequenza compresa tra 50 e 160 c/s con un'ampiezza massima data dalla relazione:

$$A = \frac{2500}{f^2}$$

ove A è l'ampiezza della vibrazione in mm e f la frequenza di vibrazione in c/s. e con un'ampiezza massima di 1 mm nella gamma di frequenza compresa tra 10 e 50 c/sec.

I componenti vengono suddivisi in tre gruppi uguali e montati sul tavolo vibrante con i mezzi di fissaggio previsti della loro costruzione, in modo da essere esposti alla vibrazione secondo tre assi ortogonali, un gruppo per ogni asse.

Il tavolo va regolato per un'ampiezza di vibrazioni di 0,1 mm.

La frequenza viene aumentata lentamente da 10 a 160 c/sec e contemporaneamente rilevate le eventuali frequenze di risonanze eventualmente con l'ausilio di uno stroboscopio.

Per ogni frequenza di risonanza i componenti vengono sottoposti a vibrazione per la durata di 1 ora.

G) - Prova di resistenza a vibrazioni a frequenza variabile.

La macchina utilizzata è costituita da un tavolo vibrante in grado di eseguire oscillazioni praticamente sinusoidali con le seguenti frequenze ed ampiezze:

10 ÷ 56 c/s	1 mm
50 ÷ 112 c/s	0,25 mm
100 ÷ 160 c/s	0,125 mm

La frequenza delle vibrazioni deve variare continuamente in ognuna delle tre gamme, compiendo un ciclo intero (dalla frequenza minima alla massima e ritorno alla minima) in un minuto.

I componenti vengono suddivisi in tre gruppi uguali e montati sul tavolo vibrante con i mezzi di fissaggio previsi dalla loro costruzione, in modo da essere esposti alla vibrazione secondo tre assi ortogonali, un gruppo per ogni asse.

I componenti vanno sottoposti ciclicamente alle frequenze ed alle ampiezze relative indicate per un numero di 100 vibrazioni ciascuno e per una durata complessiva di 5 ore.

H) - Prova di Magazzinaggio.

I componenti vanno collocati in un ambiente avente condizioni atmosferiche normali per prove, ma protetti dalla pioggia e dai raggi solari diretti, e mantenuti per la durata di 12 mesi. Gli eventuali collaudi vanno eseguiti dopo un magazzinaggio di 3, 6, 9, 12 mesi.

K) - Prova di resistenza all'atmosfera salina.

La camera usata per questa prova va costruita in modo che lo spruzzo salino non colpisca direttamente i componenti in prova. La tem-

peratura della camera va mantenuta a + 35 ± 2° C, e l'umidità relativa tra 95 e 100%.

Lo spruzzo salino deve essere prodotto mediante un atomizzatore, usando aria compressa esente di impurità. Il consumo di soluzione deve essere dell'ordine di 10 cm^3 per ora e per ogni dm^3 di volume della camera.

Si deve costruire la camera e disporre i componenti in modo tale che il liquido condensato non possa gocciolare sui componenti in prova.

La soluzione da usare deve essere preparata sciogliendo i seguenti sali in acqua distillata:

Cloruro di solio	27 grammi
Cloruro di magnesio	6 grammi
Cloruro di calcio anidro	1 grammo
Cloruro di potassio anidro	1 grammo
Acqua distillata per 1 dm^3 di soluzione	

I pesi devono essere approssimati al 10%.

I componenti vanno esposti all'atmosfera salina per 2 ore con l'atomizzatore in funzione; l'atomizzatore si ripete per la severità IV a intervalli di 48 ore per 28 giorni e per la severità V a intervalli di 24 ore per 3 giorni.

Questa durata si conta dal primo spruzzo salino.

Durante gli intervalli i componenti devono rimanere nella camera.

Per ogni ciclo di atomizzazione si deve usare soluzione nuova.

I componenti in prova non devono essere in contatto con parti metalliche.

Se la norma particolare lo richiede, i componenti vanno lavati con acqua, asciugati durante l'ora a + 55 ± 2° C e infine lasciati raffreddare nelle condizioni atmosferiche normali per l'assestamento.

I componenti vanno poi esaminati a vista per controllare eventuali corrosioni di parti metalliche, lo stato della finitura, della marcatura, ecc.

Z) - Prove di resistenza sui terminali.

a) - Prova di trazione – Si appende al terminale per la durata di 1 minuto un peso di 4,0 - 2,5 - 1,6 oppure 1,0 kg rispettivamente per i gradi IV, V, VI, VII. Il peso deve venire applicato senza strappi bruschi. Il componente viene tenuto in modo tale che il filo del terminale rimanga nella sua posizione naturale rispetto al corpo del componente stesso, a eccezione dei terminali a collarino nei quali la trazione deve risultare assiale nel senso di sfilare il collarino.

La prova viene eseguita su tutti i terminali del componente.

b) - Prova di flessione – Per i terminali a filo e piattina, dopo aver applicato il peso, come dalla prova in a), si inclina lentamente il corpo del componente in modo che il filo del terminale si pieghi di 90° ; si riporta poi il componente lentamente nella sua posizione di partenza. Tutto il movimento viene eseguito in un piano verticale. Per le piattine la prova va fatta nel piano di minor resistenza.

Per i terminali a linguetta, si piegano le linguette con le dita per un angolo di 90° e si riportano alla posizione di partenza. Si eseguono 4,2 oppure 1 piegatura rispettivamente per i gradi IV, V, VI.

Ove possibile, per i gradi IV, V, le piegature vengono eseguite alternativamente in senso opposto.

La prova viene eseguita su tutti i terminali del componente.

c) - Prova di torsione – Per i terminali a filo e piattina si procede come segue: il filo viene piegato di 90° alla distanza di 6 mm dal componente e poi torto per 360° cinque volte alternando il senso della torsione ogni volta. Le piattine vengono piegate in modo analogo, nel senso della minima resistenza.

Per i terminali a vite o collarino si applica un momento torcente del valore.

grado	*IV*	*V*	*VI*	*VII*
Nm	3,2	1,6	0,8	0,4
(kgcm	32	16	8	4)

Nel caso del collarino il momento torcente si applica nel senso di farlo girare sul supporto.

La prova viene eseguita su tutti i terminali del componente.

d) - Prova di flessibilità – Si esegue solo per terminali a filo o piattina.

Il filo viene avvolto in cinque spire strette attorno ad un mandrino cilindrico, del diametro seguente:

fili nudi: diametro del mandrino uguale al diametro del filo;
piattine: diametro del mandrino uguale alla larghezza della piattina;
fili isolati: diametro del mandrino uguale al doppio del diametro esterno del filo isolato.

e) - Prova di fissaggio – Si esegue solo per terminali a linguetta.

Con il carico, come dalla prova in a) appeso, il componente viene successivamente tenuto in posizioni tali che la forza risulta applicata nelle direzioni più critiche per il fissaggio.

f) - Prova di saldatura – Si effettua mediante immersione in un bagno di lega: 60% di stagno, 40% di piombo, alla temperatura di 350 ± 10° C.

Ogni terminale viene immerso nel bagno nella direzione del suo asse longitudinale, per una durata di 3 ± 0,5 secondi.

I terminali a filo e a piattina si immergono fino a una distanza di 6 mm dal corpo del componente, i terminali a linguetta invece fino a metà della loro lunghezza.

Lo stagno deve umettare facilmente il terminale e aderirvi bene e rapidamente.

Norme Particolari

Per ogni componente, il Comitato Elettrotecnico Italiano emette Norme particolari nelle quali sono stabilite le prove elettriche, climatiche e meccaniche che debbono essere effettuate su di essa.

Le prove da effettuare sono in generale distinte in prove di tipo e prove di accettazione.

Le prove di tipo hanno lo scopo di verificare se il particolare tipo di componente esaminato corrisponde alle Norme in questione; le prove di accettazione, quello di verificare se le singole partite corrispondono alle norme.

*

BIBLIOGRAFIA

MARCUS and ZELUFF : *Electronics for Engineers*

MONTI e MARTINI : *Dielettrici*
Edizioni M.M. 1960.

G. FONTAINE : *Diodes et Transistors - Theorie Generale*
Edizione Philips 1961.

JOHN N. SHIVE: *The properties Physics and Design of Semiconductor Devices*
Ed. D. Van Nostrand N.Y.

LLOYD P. HUNTER : *Handbook of Semiconductor Electronics*
Ed. Mc Graw Hill N.Y.

A. FERRARO : *Enciclopedia della Radio*
Ed. Sansoni 1954.

ING. ENZO CAMBI: *Televisione*
Poligrafico Acc. Navale Livorno 1951.

GIUSEPPE DILDA : *Comando di Direzione nei tubi elettronici e fotoelettronici*
Ed. Levrotto Torino.

VICTOR J. YOUNG : *Understanding Microwaves*
Ed. Jonn Rider N.Y.

ENRICO MARANTONIO : *Elettronica Industriale*
Ed. Hoepli.

GIUSEPPE DILDA : *Microonde*
Ed. Levrotto Torino

V.K.ZWORYKIN - E.G.RAMBERG : *Photoelectricity and its application*
Ed. J. Wiley N.Y.

J.DEKETH: *Bases de la technique des tubes de T.S.F.*
Ed. Philips 1947.

R.C.A. : *Tunnel Diode Manual*
Ed. R.C.A. New Jersey.

PHILIPS : *Fotomoltiplicatori e Scintillatori*
Informazioni tecniche Philips.

RICCARDO BARONI : *Semiconduttori e transistori*
Ed. Hoepli Milano

R. CHAMPEIX : *Phisique et technique des tubes Electroniques*
Ed. Dunod Paris.

RIDER : *Encyclopedia of Cathode Ray Oscilloscopes*
Ed. John Rider N.Y.

M. BIBLOT : *Technologie television*
Ed. Eyrolles Paris.

MONTI e MARTINI : *Circuiti stampati*
Ed. M.M. 1949.

ANTONIO ZANINI : *Prospettive di sviluppo della tecnica dei micromoduli*
VII Rassegna Internazione per l'Elettronica 1960.

PHILIPS : *Ignitrons*
Philips Electronic Tube Division

PHILIPS : *Thyratrons per l'Industria Moderna*
Biblioteca tecnica Philips Milano.

PROF.ING.DANIELE SETTE : *Diodi di potenza a semiconduttore cristallino*
IV Rassegna Internazione per l'Elettronica - Luglio 1957.

R. WARNECKE : *L'évolution des principes des tubes èlectroniques modernes pour micro-ondes*
Convegno di Elettronica e Televisione Milano - Aprile 1954.

ING. A.F. FACCI : *Tecnologia dei Transistori a diffusione*
Philips - Informazioni Tecniche.

CATHODE RAY : *Tunnel Diodes*
Wireless World August 1960

JOSEPH L. DALFONSO : *La miniaturizzazione e la pila*
Mallory Batteries Limited.

PHILIPS : *I tubi Elettronici*
Biblioteca Tecnica Pnilips - Milano.

FIVRE : *Considerazioni relative alla progettazione dei cinescopi*
Informazioni tecniche - Fivre.

FIVRE : *I nuovi cinescopi 19" e 23" con schermo rettangolare a faccia piatta*
Informazioni tecniche - Fivre.

FIVRE : *Il cannone tripotenziale per cinescopi TV*
Informazioni tecniche - Fivre.

PHILIPS : *Tentative Data Vidicon 55850*
July 1962.

EDINDUSTRIA EDITOI IALE : *Sistemi aziendali avanzati*
Roma 1963.

C.N.R. (C.E.I.) : *Norme 40/1*
1956.

CARROL : *Mechanical Design for Electronics Production*
Mc Graw Hill

PHILIPS : *Circuit blocks*.

*

INDICE

	Pag.
PARTE PRIMA	5
CAPITOLO I - **Elementi essenziali della fisica dei materiali**	7
I.1 - Materiali conduttori, isolanti e semiconduttori	7
CAPITOLO II - **Giunzioni**	16
II.1 - Giunzione P -N	16
II.2 - Effetto di un campo elettrico esterno applicato ad un monocristallo contenente una giunzione	19
Giunzione polarizzata in senso diretto	19
Giunzione polarizzata in senso inverso	20
II.3 - Effetto transistore	22
II. 4 - Funzionamento elettrico di un transistore tipo PNP	23
CAPITOLO III - **Procedimenti tecnologici per la produzione dei materiali semiconduttori**	26
III. 1 - Estrazione e lavorazione del germanio	26
III. 2 - Riduzione del biossido di germanio	27
III. 3 - Purificazione del germanio per via fisica	28
III. 4 - Riduzione del germanio intrinseco a Monocristallo	31
III. 5 - Formazione delle piastrine di materiale semiconduttore monocristallino	33
III. 6 - Misure sui materiali semiconduttori	33
Misura della resistività	33
Misura dell'effetto Hall	35

Pag.

CAPITOLO IV - **Procedimenti tecnologici per la produzione dei diodi e dei transistori** 37

IV.1 - Diodo a punta 37
Diodi a giunzione per lega 38
Diodi a giunzione per accrescimento 39
Diodi a giunzione per diffusione 41
Diodi rettificatori di potenza 41
IV.2 - Diodo Zener 45
IV.3 - Diodo Tunnel 48
Caratteristiche costruttive 52
IV.4 - Transistore a punte 53
IV.5 - Transistore a giunzione 55
Transistori a giunzione per lega 57
Transistori a giunzione per accrescimento 57
Transistori a barriera superficiale 60
Transistori a giunzione per diffusione 61
Transistori a giunzione per diffusione tipo planar 63
IV.6 - Transistori a giunzione a strato intrinseco 65

CAPITOLO V - **Rettificatori ad ossido** 67

V.1 - Generalità 67
V.2 - Rettificatori ad ossido di rame 68
V.3 - Rettificatori al selenio 69
V.4 - Funzionamento dei rettificatori alle varie temperature e sistemi relativi di raffreddamento 73

PARTE SECONDA

CAPITOLO I - **Tecnologia dei tubi elettronici** 79

I.1 - Generalità e classificazione 79
I.2 - Tubi termoelettronici o ad emissione termo elettronica 80
I.3 - Materiali utilizzati come catodi nei tubi termoelettronici 81
Tungsteno 81
Tantalio 82

Pag.

Ossidi di materiali alcalino terrosi 82
Tungsteno toriato 84
I.4 - Riscaldamento e struttura dei catodi emittenti 84
Catodi a riscaldamento diretto 85
Catodi a riscaldamento indiretto 86
I.5 - Le griglie 88
I.6 - Gli anodi 92
Nichel ricoperto da uno strato nerastro di carburo di nichel 93
Ferro placcato di nichel o di alluminio 94
Molibdeno ricoperto con polvere di zirconio 94
La grafite 94
I.7 - Elementi di supporto degli elettrodi nei tubi elettronici 98
I.8 - Il getter o capsula di esplosione 101
I.9 - Costruzione di un tubo 102

CAPITOLO II - **Pompe per il vuoto** 107

II.1 - Grandezze caratteristiche di una pompa 107
Pressione iniziale, detta anche pressione preparatoria o primaria 107
Velocità di estrazione di una pompa 107
Pompa teorica 108
Pompe reali 109
Pressione limite di una pompa 110
Classificazione delle pompe 111
II.2 - Pompe che applicano la legge di Mariotte 111
Pompa a pistone 111
Pompa rotativa a paletta 112
II.3 - Pompe che utilizzano la viscosità dei gas 115
Pompe molecolari 116
Pompa molecolare di Holweck 117
II.4 - Pompe a diffusione 118
Pompe a diffusione di vapori di mercurio 119
Pompe a diffusione di vapori di olio 121

CAPITOLO III - **Principali tipi di tubi termoelettronici a vuoto** 125

III.1 - Il diodo 125
III.2 - Il triodo 127

Pag.

III.3 - Il tetrodo 129
III. 4 - Il pentodo 131
III.5 - Tubi con più di tre griglie 136

CAPITOLO IV - **Tubi per frequenze elevate** 138

IV. 1 - Introduzione 138
IV.2 - Triodi per altissime frequenze 140
IV.3 - Tubi a modulazione di velocità 142
Klystron 142
Klystron reflex 149
Il magnetron 151
Tubi ad onde progressive 156

CAPITOLO V - **Tubi a gas** 160

V.1 - Generalità 160
V.2 - Diodi a gas a catodo freddo 163
V.3 - Diodi a gas a catodo caldo 164
V.4 - Thyratrons a catodo caldo 168
V.5 - Ignitron 171

CAPITOLO VI - **Tubi a raggi catodici e tubi fotoelettronici** 173

VI.1 - Generalità 173
VI.2 - Tubi a raggi catodici per oscilloscopi e per la riproduzione di immagini di televisione 175
Elementi costitutivi di un tubo a raggi catodici 176
Fabbricazione dei tubi a raggi catodici 186
VI.3 - Cellule fotoelettroniche 189
Cellule con fotocatodo Argento-Cesio 193
Cellule con fotocatodo Cesio-Antimonio 195
Cellule con fotocatodo di Argento-Bismuto-Cesio 195
Cellule a vuoto a gas inerte 196
VI.4 - Tubi fotomoltiplicatori 197
Strutture e principi di funzionamento 198
Fotocatodo 200
Il concentratore elettronico di entrata 202

Pag.

Il moltiplicatore 202
Proprietà ed applicazioni di fotomoltiplicatori 204

CAPITOLO VII - **Tubi di ripresa per televisione** 206

VII.1 - Il dissettore 206
VII.2 - L'iconoscopio 208
VII.3 - Iconoscopio ad immagine elettronica 212
VII.4 - Orticonoscopio 214
VII.5 - Orticonoscopio ad immagine elettronica 216
VII.6 - Il vidicon 219

CAPITOLO VIII - **Ampolle regolatrici di corrente** 223

VIII.1 - Generalità 223

PARTE TERZA

CAPITOLO I - **Circuiti prefabbricati** 226

I.1 - Generalità 226
I.2 - Costituzione dei supporti per circuiti prefabbricati 227
I.3 - Metalli utilizzati per realizzare il rivestimento conduttore 230
Progettazione del circuito 231
Fabbricazione del circuito 234
Lavorazione meccanica del circuito 237
I.4 - Componenti per circuiti prefabbricati 239

CAPITOLO II - **Tecnica dei micromoduli** 243

II.1 - Generalità 243

CAPITOLO III - **La pila nei circuiti miniaturizzati** 248

III.1 - La pila «elementare» 248
Le serie elettrochimiche 249
Polarizzazione 249
Azione locale 250
Capacità 250
Necessità di progettazione 250

Pag.

III.2 - La pila Leclanché 251
III.3 - Pile alcalino-manganese 253
III.4 - Pile al mercurio 255
La pila allo zinco-ossido e solfato di mercurio 260
III.5 - Altri tipi di pile 260

PARTE QUARTA

CAPITOLO I - **Apparecchiature elettroniche** 265

I.1 - Generalità 265
I.2 - Dimensionamento e costituzione delle apparecchiature 266
I.3 - Dimensioni standard dei pannelli 267
I.4 - Armadi 269
I.5 - Il telaio 270

CAPITOLO II - **Progettazione di un'apparecchiatura elettronica** 274

II.1 - Generalità 274

CAPITOLO III - **Schermatura dei componenti e delle apparecchiature** 278

III.1 - Generalità 278
III.2 - Schermi elettrostatici 278
III.3 - Schermi magnetici 281

CAPITOLO IV - **Filatura e saldatura** 283

IV.1 - Generalità 283
Materiali 283
IV.2 - Sistemi di filatura 285
Filatura mediante connessione punto-punto 285
Filatura mediante cablaggio 287
IV.3 - La saldatura 291
IV.4 - Il deossidante 293
Le saldature con il ferro saldatore 293
Saldature multiple contemporanee mediante bagno 295

CAPITOLO V - **Circuiti a blocchi** 296

V.1 - Generalità 296

Pag.

PARTE QUINTA

CAPITOLO I - **Cenni sui principi e sui metodi dell'organizzazione tecnica industriale** 304

I.1 - Generalità 304
I.2 - Studio del programma di lavorazione 304
I.3 - L'automazione 306
I.4 - Elaboratori elettronici 307
Esempio di un moderno sistema di produzione 308
I.5 - Grado di fiducia delle apparecchiature e dei componenti elettronici 312

CAPITOLO II - **Normalizzazione dei componenti e delle apparecchiature elettroniche** 319

II.1 - Generalità 319
II.2 - Prove climatiche e meccaniche 320
Prova di resistenza alle basse temperature 320
Prova di resistenza alle alte temperature 321
Prova di resistenza al caldo-umido (prova prolungata) 321
Prova di resistenza al caldo umido (prova accelerata) 324
Prova di resistenza alle scosse 325
Prova di resistenza alle vibrazioni in condizioni di risonanza 326
Prova di resistenza a vibrazioni a frequenza variabile 327
Prova di magazzinaggio 327
Prova di resistenza all'atmosfera salina 327
Prova di resistenza sui terminali 329
Norme particolari 330

BIBLIOGRAFIA 333

*

FINITO DI STAMPARE
NOVEMBRE 1965

Della stesso Autore:

Tecnologia Generale (L.2800)

Tecnologia dei Componenti Elettronici vol.I (L.3200)



LEONARDO

COLLANA DI TESTI PER GLI ISTITUTI TECN.INDUSTRIALI

L. 3.600