

## 1 Raddrizzatore - Generalità

I circuiti raddrizzatori utilizzano componenti come i Diodi che presentano la caratteristica di unidirezionalità, cioè permettono il passaggio della corrente solo in un verso. In figura è mostrata la caratteristica Tensione-Corrente di un diodo:

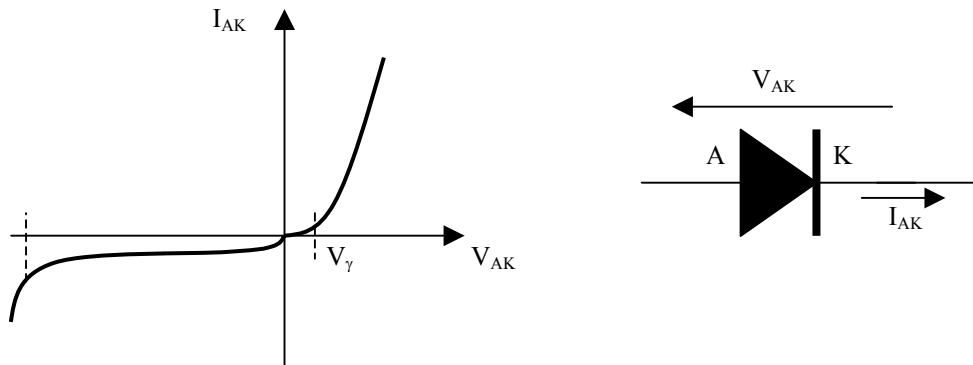


Fig.1 – Caratteristica del Diodo

Dalla caratteristica è evidente che per tensioni tra ANODO e CATODO positive il Diodo conduce, mentre per tensioni negative la corrente di conduzione è molto piccola .

Sfruttando questa proprietà del diodo è possibile realizzare circuiti che permettono di ottenere tensioni continue da tensioni alternate.

### 1.1 Raddrizzatore a semionda

Si consideri per esempio il circuito in figura 2.a.

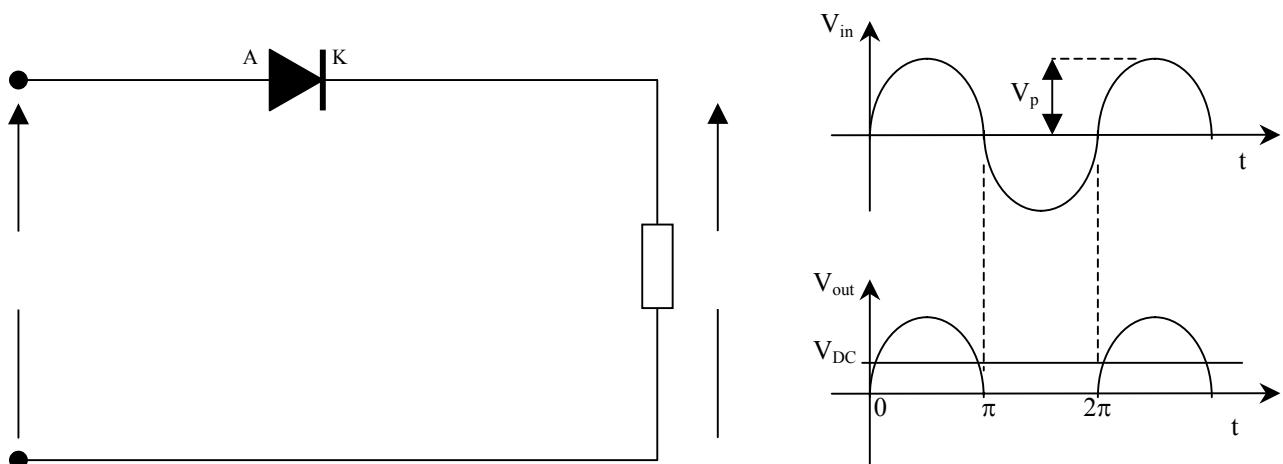


Fig.2 – a. Raddrizzatore con un unico diodo; b. Forme d'onda delle tensioni di ingresso e uscita

Il **valore medio**  $V_{DC}$  della tensione raddrizzata è circa uguale a  $\frac{V_p}{\pi}$  mentre il suo

**valore efficace**  $V$  è uguale a  $\frac{V_p}{2}$

Per determinare la qualità della tensione raddrizzata si definisce il *fattore di ripple*

$$F_r = \frac{V_r}{V_{DC}}$$

dove  $V_r$  è la **tensione di ondulazione** o **di ripple** ed è definita come:

$$V_r = \sqrt{V^2 - V_{DC}^2}$$

Per il circuito proposto in figura 2.a il  $F_r = 1,21$

### 1.2 Raddrizzatori ad onda intera

In figura 3 è mostrato un raddrizzatore che permette di ottenere una tensione raddrizzata a doppia semionda.

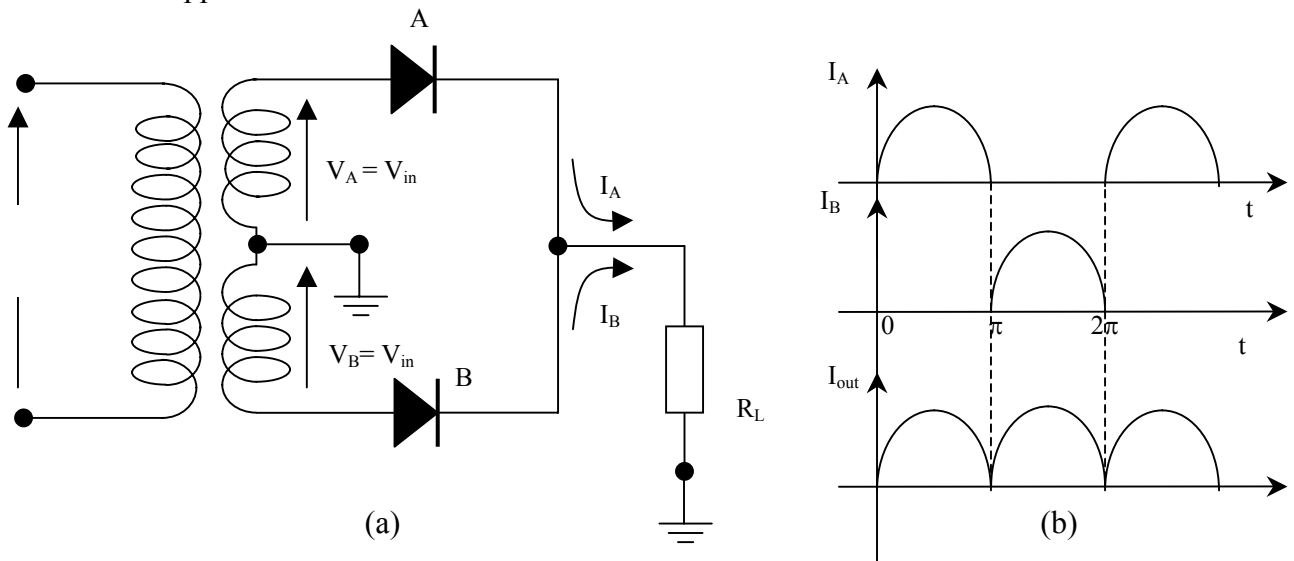


Fig.3 – a. Schema di un raddrizzatore a doppia semionda; b. Correnti di uscita

Anche in questo caso è possibile dimostrare che la **tensione media** in uscita è circa

uguale a  $2\frac{V_p}{\pi}$  mentre il suo **valore efficace** è uguale a  $\frac{V_p}{\sqrt{2}}$ .

Da queste due espressioni è possibile determinare il *fattore di ripple* che risulta essere uguale a circa 0,483 e cioè molto inferiore allo stesso ottenuto con il raddrizzatore a singola semionda.

Lo svantaggio del circuito in figura 3.a è quello di richiedere un trasformatore a presa centrale. Questo inconveniente viene superato con il cosiddetto *ponte di Graetz* il cui schema di principio è mostrato in figura 4.

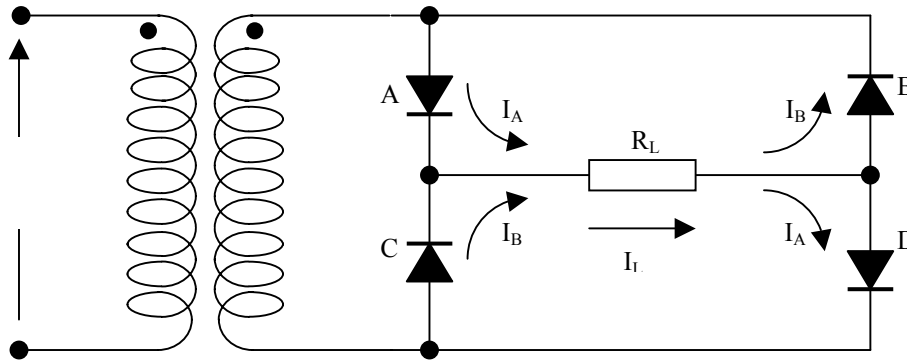


Fig.4 – Schema del raddrizzatore a ponte di Graetz

La tensione che si ottiene sul carico  $R_L$  è la stessa di quella ottenuta con il circuito proposto in figura 3.a con il vantaggio di poter utilizzare un trasformatore più semplice da un punto di vista costruttivo.

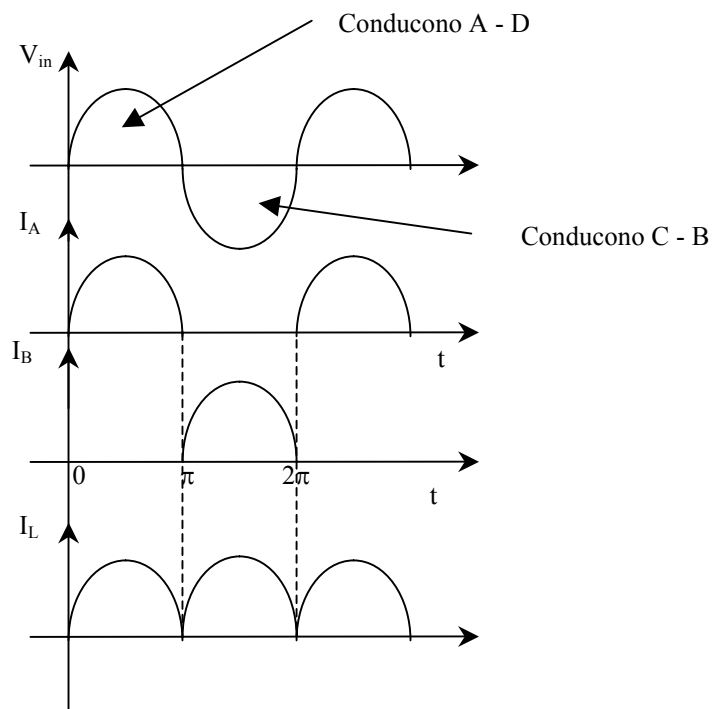


Fig.5 – Tensioni e correnti con raddrizzatore a ponte di Graetz

### 1.3 Raddrizzatore trifase

Gli schemi proposti precedentemente sono relativi a sistemi monofase; per sistemi trifase, bisogna utilizzare un'altra tipologia di raddrizzatore il cui schema è mostrato in figura 5.

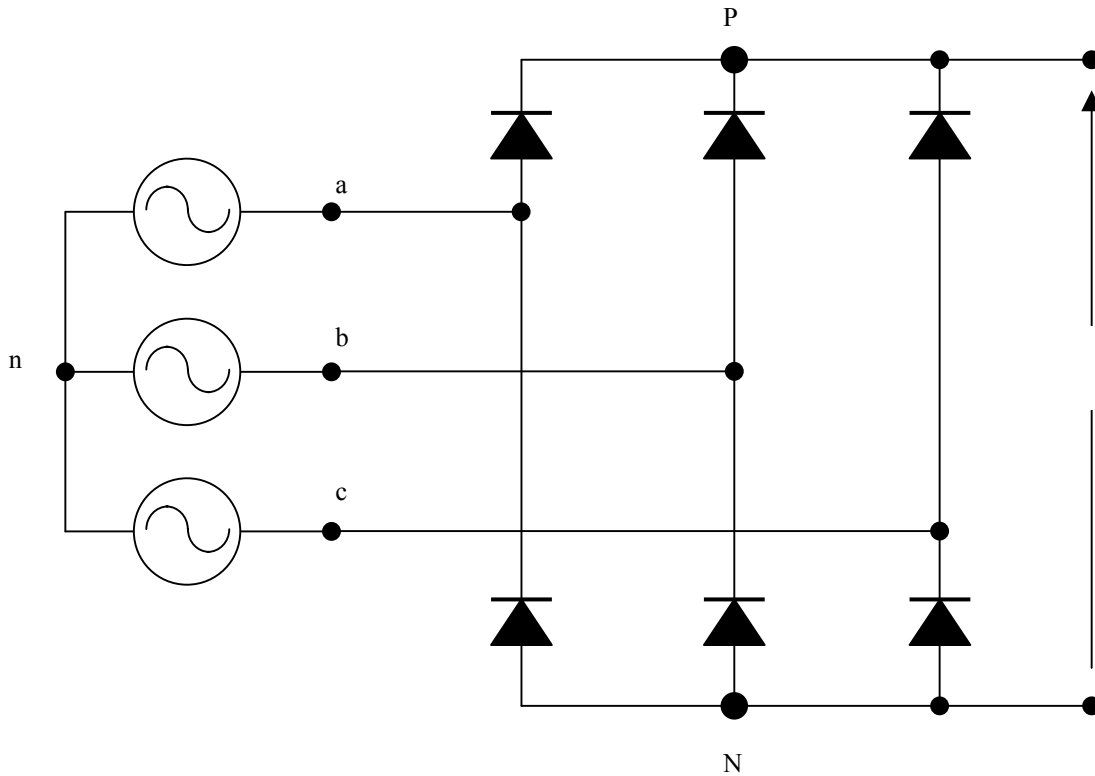


Fig.5 – Schema elettrico di un raddrizzatore trifase

Il principio di funzionamento del raddrizzatore trifase è lo stesso di quello monofase; ciascun diodo conduce quando la tensione tra l'anodo e il catodo è maggiore di zero (nei diodi reali la tensione  $V_{AK}$  deve essere maggiore di 0.7V) e risulta interdetto nel caso contrario.

In figura 6 viene mostrato in dettaglio lo stato di ciascun diodo in funzione delle tre tensioni di ingresso. La figura 7 mostra, inoltre, l'andamento della tensione in uscita (tra i punti P-N) in assenza del condensatore che normalmente viene inserito in uscita per livellare la tensione e il cui dimensionamento verrà trattato in seguito.

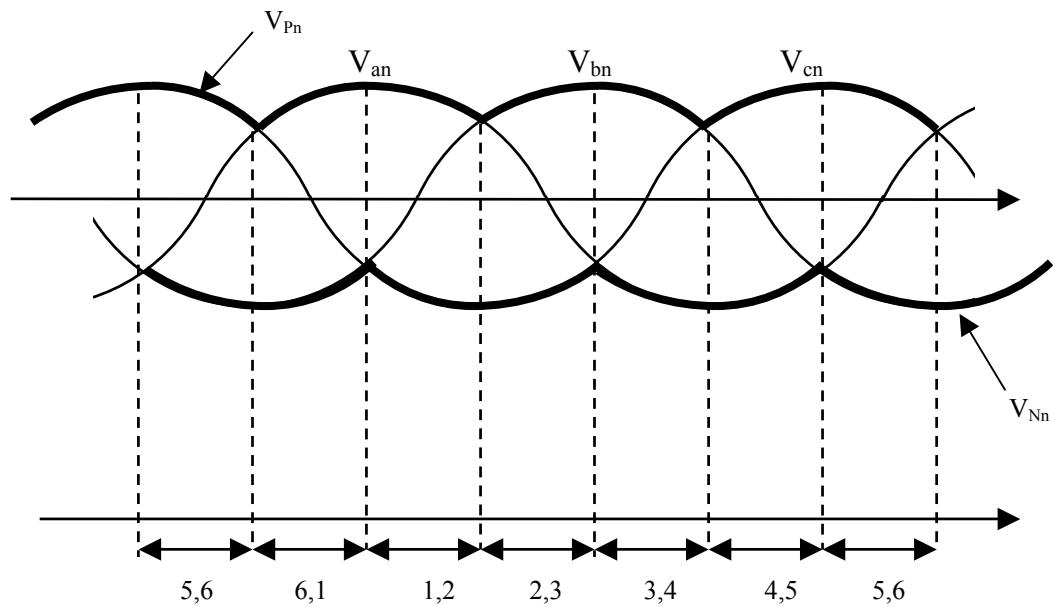


Fig.6 – Sequenza dello stato dei diodi in un raddrizzatore trifase

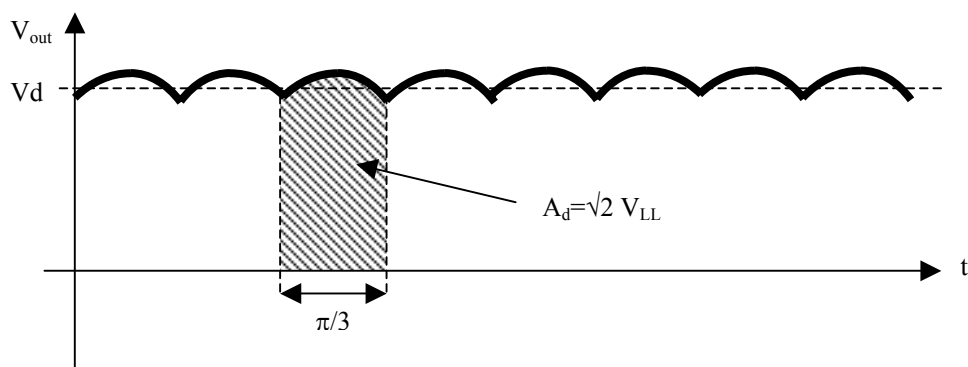


Fig.7 – Andamento della tensione tra i punti P-N

Il valore medio della tensione in uscita al raddrizzatore trifase può essere calcolato mediante la relazione seguente:

$$V_d = \frac{A_d}{\frac{\pi}{3}} = 1.35V_{LL}$$

#### 1.4 Dimensionamento del condensatore

Come si è visto precedentemente, la tensione in uscita ad un raddrizzatore presenta delle ondulazioni che devono essere necessariamente ridotte a valori accettabili mediante l'utilizzo di un condensatore collegato in parallelo al carico.

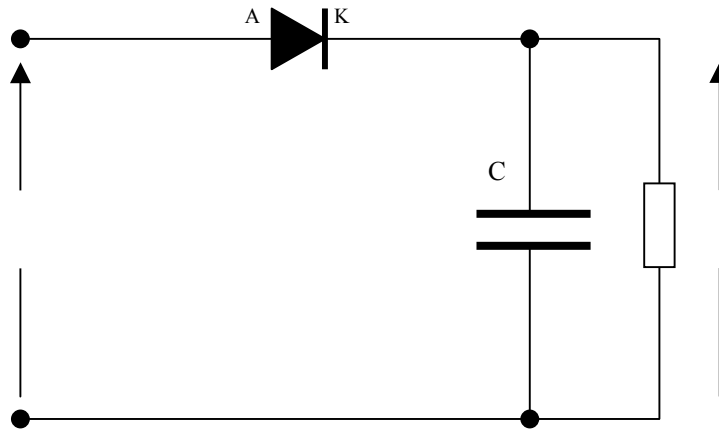


Fig.8 – Raddrizzatore a singola semionda con condensatore di filtraggio

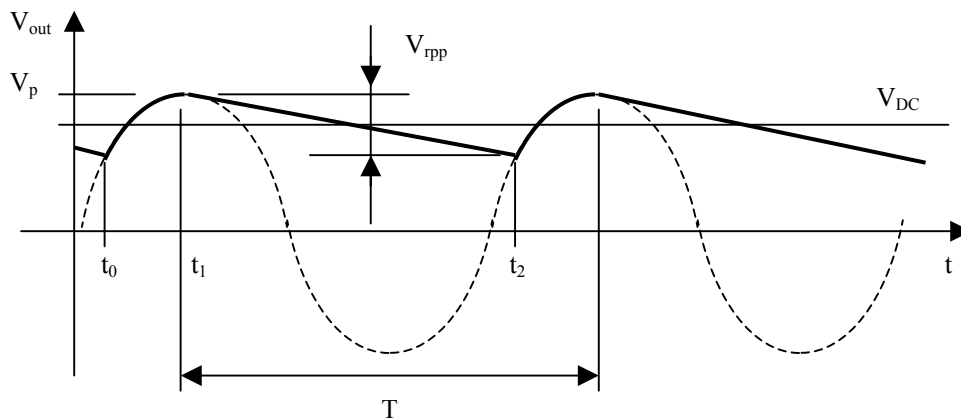


Fig.9 – Tensione in uscita al raddrizzatore a singola semionda con condensatore in parallelo al carico

Nell'intervallo  $t_0$ - $t_1$  il diodo è polarizzato direttamente, il condensatore si carica con una costante di tempo molto bassa :  $\tau_c = R_f C$  dove  $R_f$  è la resistenza interna del diodo in conduzione.

All'istante  $t_1$  il catodo del diodo si trova alla tensione  $V_p$  (tensione di picco) che è la tensione a cui si è caricato il condensatore; il diodo si polarizza inversamente e il condensatore inizia a scaricarsi con costante di tempo che dipende dal carico e dalla capacità.

Si dimostra facilmente che nel caso di raddrizzatore a singola semionda, la tensione  $V_{rpp}$  è data dalla seguente espressione:

$$V_{rpp} = \frac{V_{DC}}{fR_L C}$$

Nel caso di raddrizzatore trifase si utilizza, invece, la relazione seguente:

$$C = \frac{T}{4} \cdot \frac{I}{\Delta V}$$

che lega la capacità stessa al periodo del segnale da raddrizzare, al ripple di tensione massimo che si vuole avere e alla corrente:

C = Capacità

T = Periodo del segnale raddrizzato

I = Corrente

$\Delta V$  = Ripple di tensione

I condensatori che si trovano in commercio hanno in genere un limite di tensione di 450V. Ciò rappresenta un grosso limite nel caso in cui il condensatore deve essere collegato a valle di un raddrizzatore trifase. In questo caso, infatti, il valore di tensione in uscita dal raddrizzatore è di circa 513V.

Questo problema può essere facilmente risolto utilizzando una configurazione mostrata in figura:

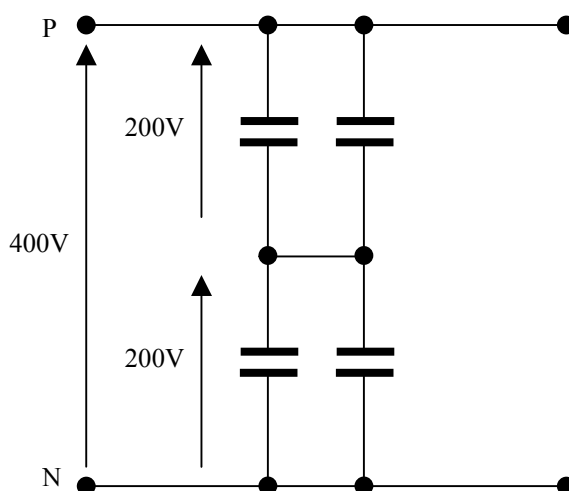


Fig.10 – Schema di collegamento dei condensatori

Collegando due condensatori in serie, la tensione tra i punti P-N si ripartisce in due parti uguali; nello stesso tempo, però, anche la capacità totale dei due condensatori si dimezza. Per riottenere nuovamente la capacità totale richiesta è sufficiente collegare in parallelo ai due condensatori un'altra coppia di condensatori.

In definitiva si ottiene una serie di due paralleli come in figura.

### 1.5 Criteri di realizzazione del DC-Link

In figura 11 viene mostrato un filtro capacitivo realizzato utilizzando semplicemente due barre di rame parallele montate sui morsetti del condensatore. Il circuito equivalente del filtro così realizzato presenta oltre alla capacità del condensatore anche una resistenza serie molto piccola e una induttanza di dispersione rilevante.

Per ridurre questa induttanza di dispersione e quindi i  $\frac{dv}{dt}$  rilevanti che da essa derivano, è importante curare la realizzazione del filtro.

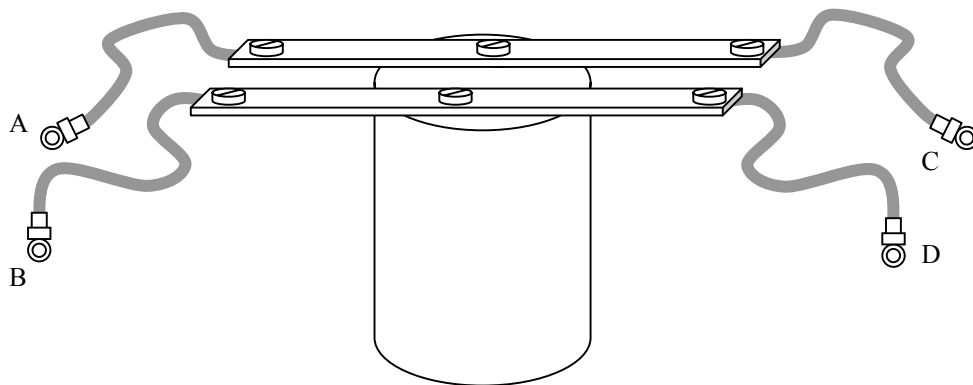


Fig.11

In particolare è opportuno realizzare una struttura cosiddetta a sandwich come in figura 12. Questa struttura prevede di utilizzare, anziché due barre parallele, due piani paralleli separati da uno strato di dielettrico come un vero e proprio condensatore. In questo modo si riduce sensibilmente l'induttanza parassita e di conseguenza i problemi ad essa legati.



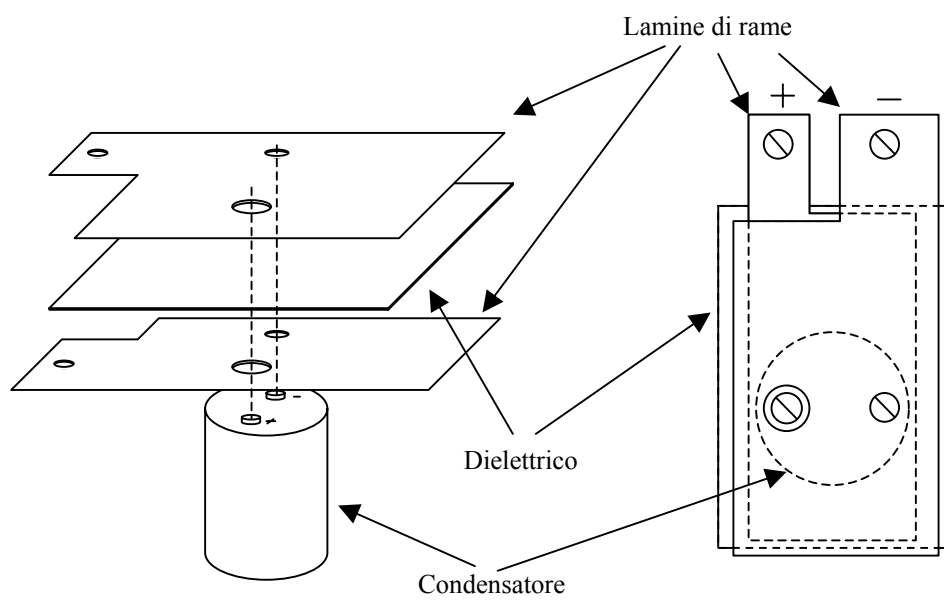


Fig.12 – Filtro capacitivo realizzato con struttura sandwich