



nexthardware.com

---

a cura di: **Clemente Basilicata - Caos85 - 29-03-2012 16:30**

## L'alimentatore ai raggi X



nexthardware.com  
your ultimate professional resource

**LINK (<https://www.nexthardware.com/guide/alimentatori/13/lalimentatore-ai-raggi-x.htm>)**

Pur svolgendo la medesima funzione, gli alimentatori non sono tutti uguali; proviamo quindi a scoprire i segreti che si celano al loro interno.

L'alimentatore, o PSU (Power Supply Unit), è un componente indispensabile che, per ovvie ragioni, non può mancare in qualsiasi apparecchiatura elettronica.

Nello specifico, gli alimentatori per PC sono oramai divenuti estremamente complessi, sia per soddisfare le crescenti richieste energetiche, sia per assicurare all'utente grandi doti di stabilità, efficienza e durata.

Con questa breve guida ci poniamo l'obbiettivo di mostrare in dettaglio, anche a coloro che non hanno molta confidenza con l'elettronica, i componenti e le soluzioni che consentono a questo dispositivo di adattare la tensione di rete ai valori richiesti dai componenti elettronici presenti nei nostri case.

Buona lettura!

### **1. Cenni sulla distribuzione dell'energia**

#### **1. Cenni sulla distribuzione dell'energia elettrica**

↔

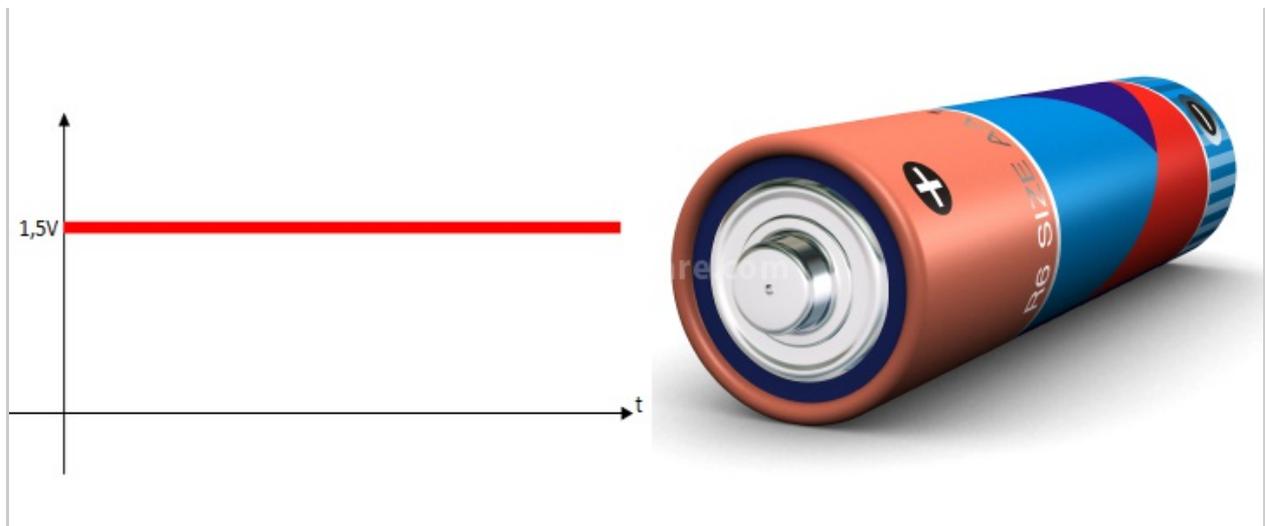
***Perchè è necessario ricorrere ad un alimentatore?***

↔

Come molti sapranno, i componenti elettronici necessitano per il loro funzionamento di una tensione di alimentazione continua, del tutto simile a quella fornita da una comunissima batteria, cioè un valore di tensione non variabile nel tempo la cui ampiezza dipende esclusivamente dal tipo di componente da alimentare.

↔

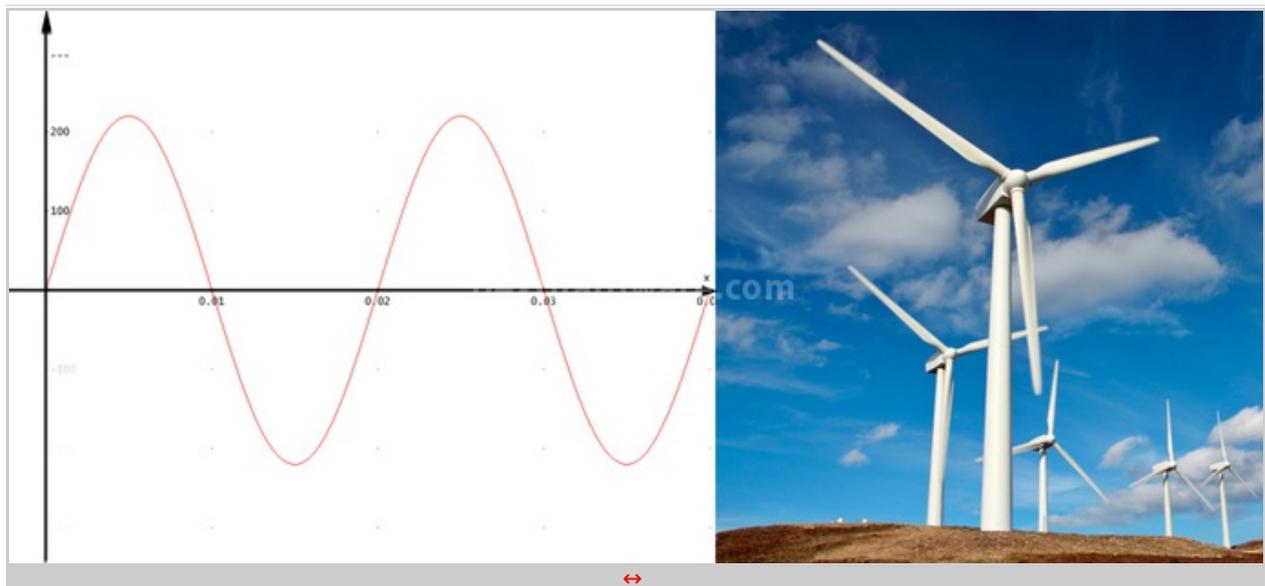
---



↔

Tuttavia, la tensione prodotta dalle centrali elettriche non è di questo tipo, ma bensì alternata, il cui valore efficace, per la nostra distribuzione, varia da +220V a -220V, con un valore di picco pari a  $V_p = V_e / 0,707 = 311V$  ed una frequenza di 50Hz.

↔



↔

La tensione è quindi variabile su un range di ben 622V picco-picco con legge sinusoidale ogni 20 millisecondi (50Hz).

Il motivo per cui si produce tensione in alternata è dovuta ad una serie di considerazioni.

I generatori (alternatori) sono più economici e più robusti delle dinamo (generatori in continua) e la tensione alternata, diversamente da quella continua, può essere elevata o diminuita con un "semplice" trasformatore magnetico.

La tensione prodotta dalle centrali viene innalzata fino a valori di 380000V per poter essere trasportata dagli elettrodotti con perdite di potenza ridotte.

Difatti, a parità di potenza erogata, è necessaria una corrente minore al crescere della tensione; riducendo la corrente si riducono le dispersioni di potenza per effetto Joule causate dalla resistenza del conduttore che, viste le grandi lunghezze, non è trascurabile.

Una volta giunta nei luoghi d'utilizzo, dei trasformatori basati sullo stesso principio riducono tali valori a quelli destinati all'impiego domestico o industriale.

Ecco quindi che si rende necessario un adattatore specifico, che trasformi la tensione delle rete ↔ in base alle esigenze dell'apparecchio utilizzatore.

Al seguente [link \(http://www.die.ing.unibo.it/pers/cristoforo/didattica/dispense/14impel.pdf\)](http://www.die.ing.unibo.it/pers/cristoforo/didattica/dispense/14impel.pdf) trovate in forma dettagliata i cenni sulla distribuzione dell'energia elettrica, il documento fa parte del materiale

didattico messo a disposizione da un docente dell'università di Bologna.

↔

↔

## 2. AC-DC: come ?

### 2. Trasformare la tensione alternata in continua: come ?

↔

**Come trasformare una tensione variabile in una tensione continua? L'operazione è più semplice di quanto possa sembrare ...**

↔

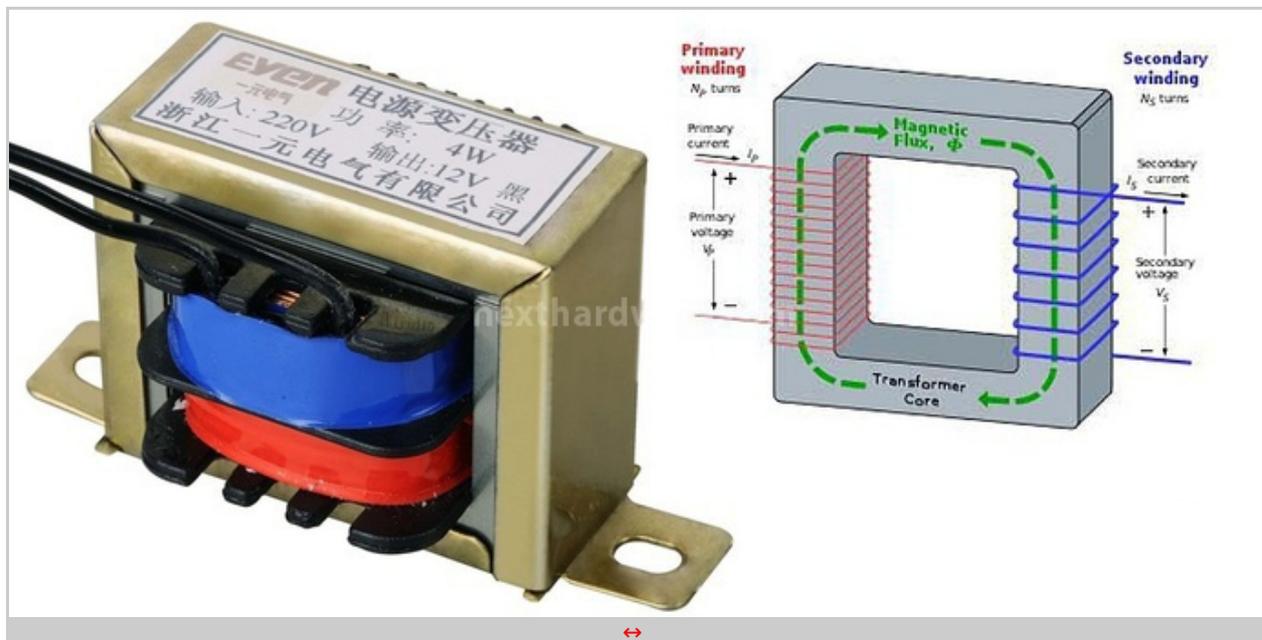
Passiamo ad analizzare le tecniche che sono alla base della conversione AC-DC.

La tensione alternata va preventivamente ridotta perchè il suo valore è eccessivamente alto per il tipo di componenti che verranno utilizzati per le successive fasi.

Allo scopo viene in aiuto il trasformatore magnetico precedentemente introdotto.

Si tratta di un componente estremamente semplice, costituito da due avvolgimenti isolati, avvolti su un supporto ferromagnetico (ottime proprietà magnetiche).

↔



↔

Il suo funzionamento è estremamente semplice: la tensione d'ingresso, posta ai capi dell'avvolgimento primario, produce un flusso magnetico che va a concatenarsi con l'avvolgimento secondario, producendo su quest'ultimo una tensione dipendente dal numero di spire dei due avvolgimenti.

Ad esempio, se l'avvolgimento primario conta 10000 spire, mentre quello secondario solo 1000, il rapporto tra le tensioni sarà 1/10, quindi applicando sul primario la nostra tensione da 220V avremo sul secondario 22V.

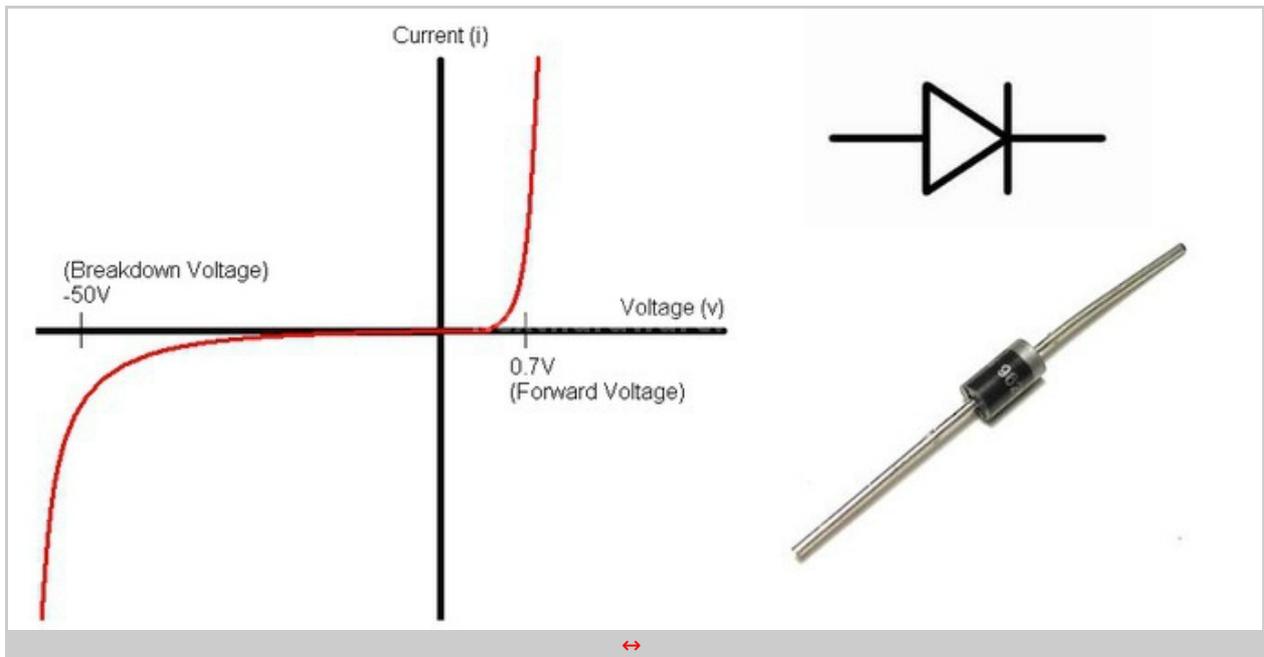
Altra caratteristica interessante è che la potenza assorbita dal secondario è la stessa che viene erogata dal primario, ne consegue che se l'uscita è aperta, in ingresso non viene assorbita potenza (in realtà c'è una piccola potenza dissipata) anche se apparentemente i due cavi sono cortocircuitati da un conduttore!

Inoltre, se il secondario eroga 220W, quindi 10A, avremo che nel primario circola solo 1A, motivo per cui nei trasformatori la bobina con meno spire utilizza un conduttore dalla sezione maggiore.

A questo punto abbiamo ridotto la tensione, ma la forma d'onda resta quella sinusoidale con la tensione che va anche in negativo, per cui ben lontana da quella continua.

Per ovviare al problema possiamo puntare sul diodo.

↔

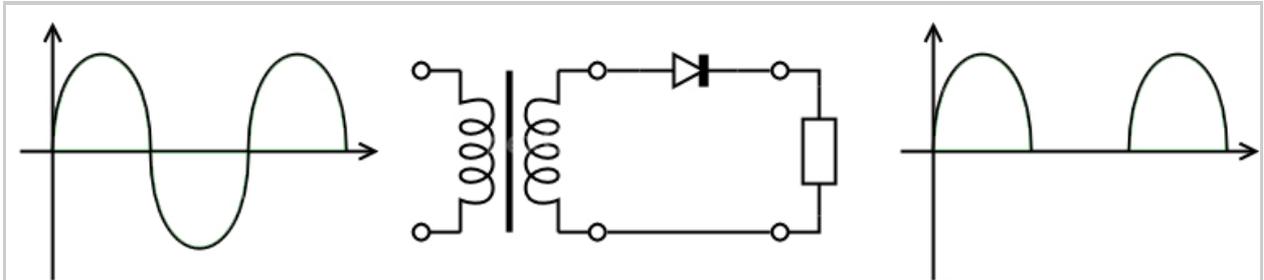


↔

Il diodo è un componente a semiconduttore che ha la caratteristica di lasciarsi attraversare dalla corrente in un solo verso e di bloccare, fino ad un valore limite di rottura, le tensioni nel senso opposto.

Ponendo in serie il diodo al trasformatore, avremo la possibilità di tagliare le semionde negative che verranno pertanto bloccate da questo componente.

↔



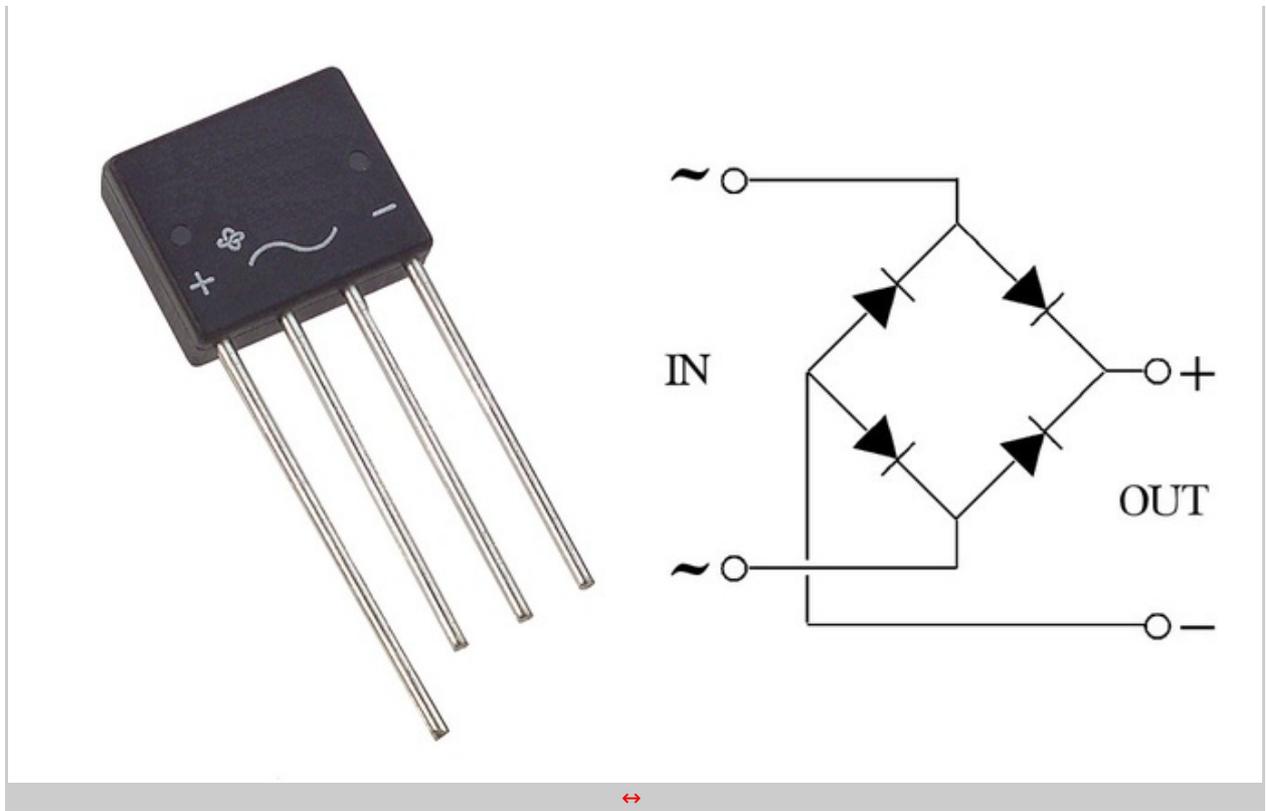
↔

In questo modo abbiamo evitato che la tensione scenda a valori negativi, ma il risultato è ancora fortemente insoddisfacente.

La frequenza a 50Hz e la completa assenza di tensione tra le due semionde rende molto difficile la loro rettifica.

Per migliorare le cose si ricorre ad un circuito più complesso che utilizza 4 diodi.

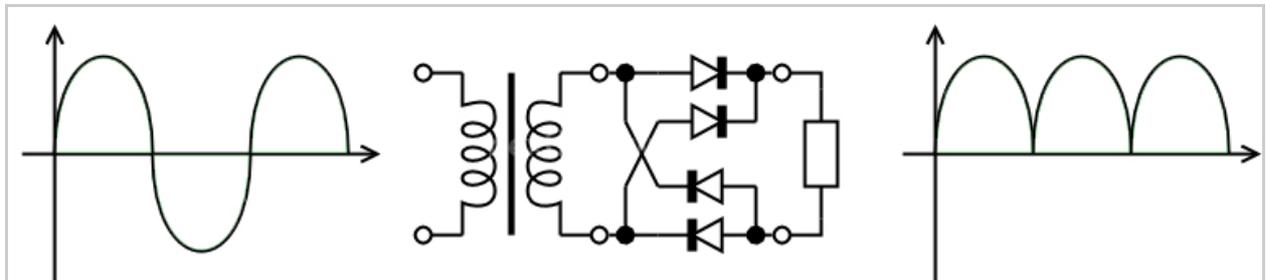
↔



↔

La struttura così composta, detta ponte di Graets, consente di ribaltare la semionda negativa dando così in uscita una tensione a doppia semionda.

↔



↔

Il raddoppio della frequenza (100Hz) e una tensione nulla per un brevissimo istante consentono, a questo punto, di avere una buona base per procedere con la rettifica.

↔

↔

### 3. AC-DC: parte seconda

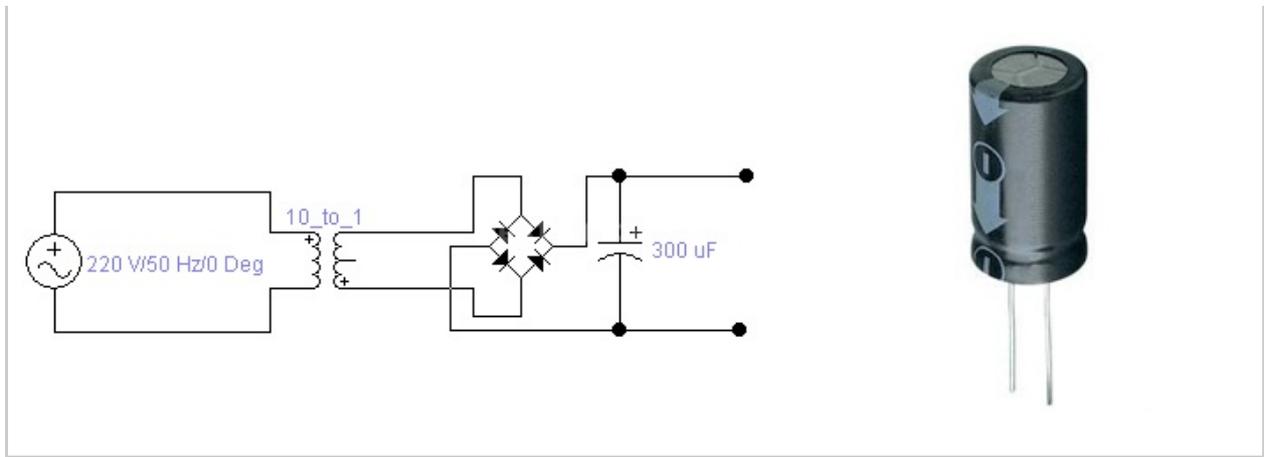
#### 3. AC-DC: verso la tensione continua

↔

***Dopo aver eliminato la tensione negativa, siamo ancora ben lontani dall'ottenere un tensione continua ...***

Per cercare di stabilizzare la tensione d'uscita, possiamo utilizzare un condensatore di grande capacità .

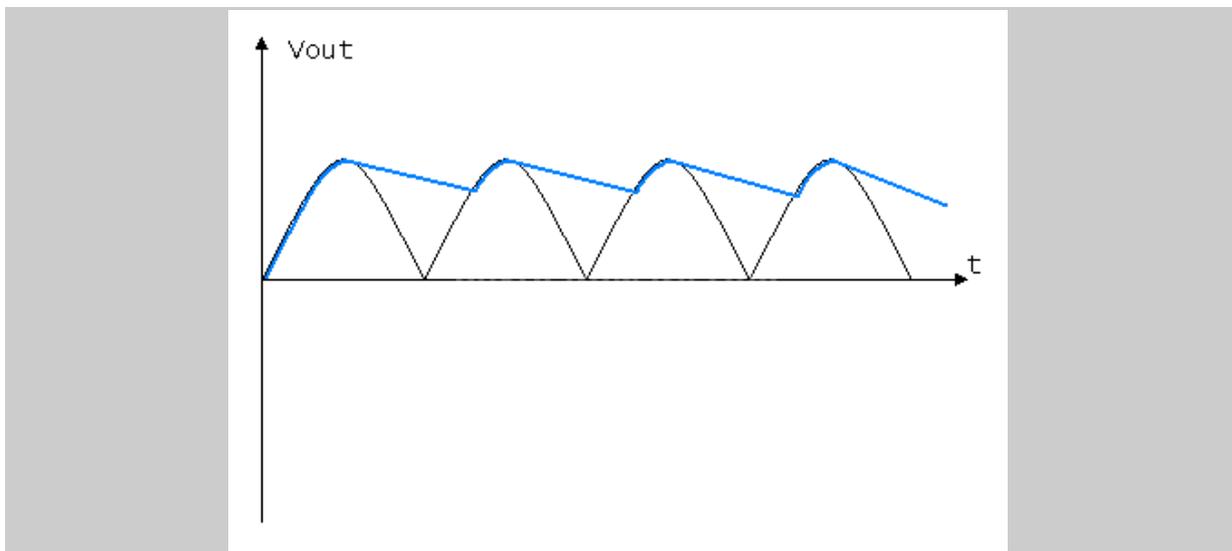
↔



↔

Il condensatore funge da accumulatore di energia e immagazzinando cariche al suo interno riesce a tenere alta la tensione tra una semionda e l'altra.

↔



↔

L'efficacia dipende essenzialmente dalla corrente assorbita, più è alta meno la tensione d'uscita sarà stabile.

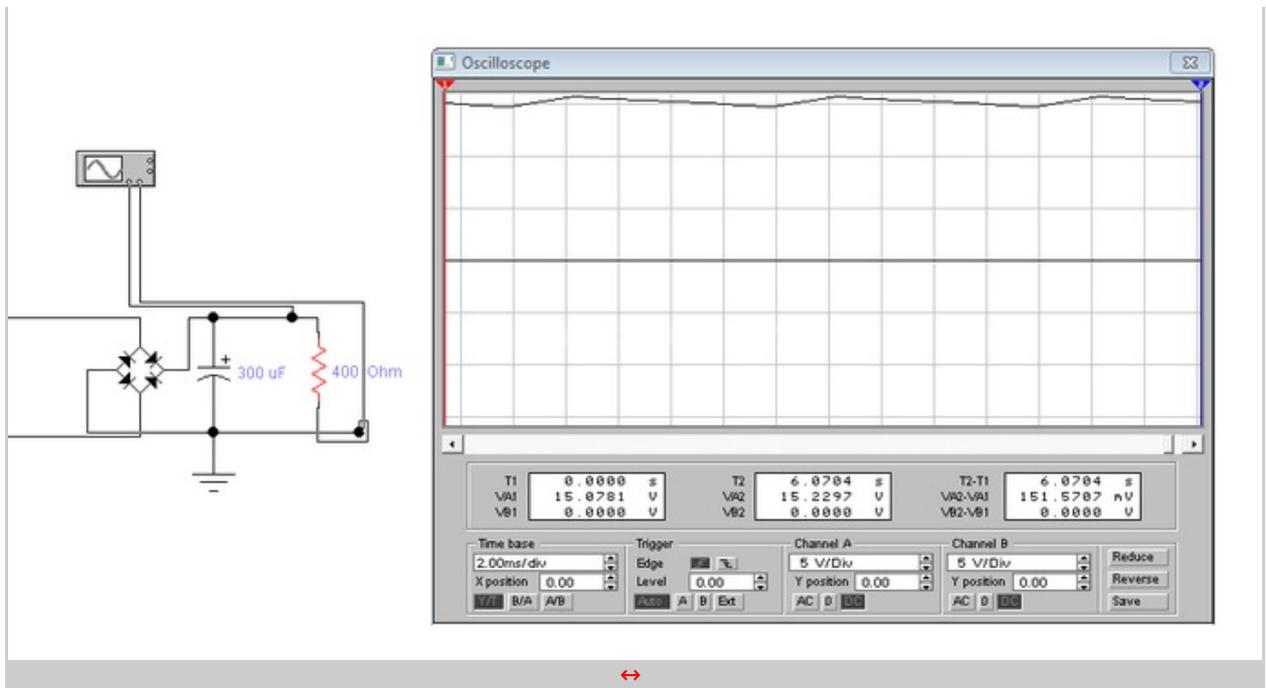
Questo perchè il condensatore dispone solo delle cariche che ha accumulato: se queste vengono cedute troppo velocemente, prima cioè che il condensatore abbia modo di ricaricarsi, potrebbe restarne privo e, ovviamente, senza cariche la tensione scende a zero.

Nella seguente simulazione risulta immediatamente osservabile l'effetto che diversi carichi producono sulla tensione d'uscita.

↔

- **Carico 400 Ohm**

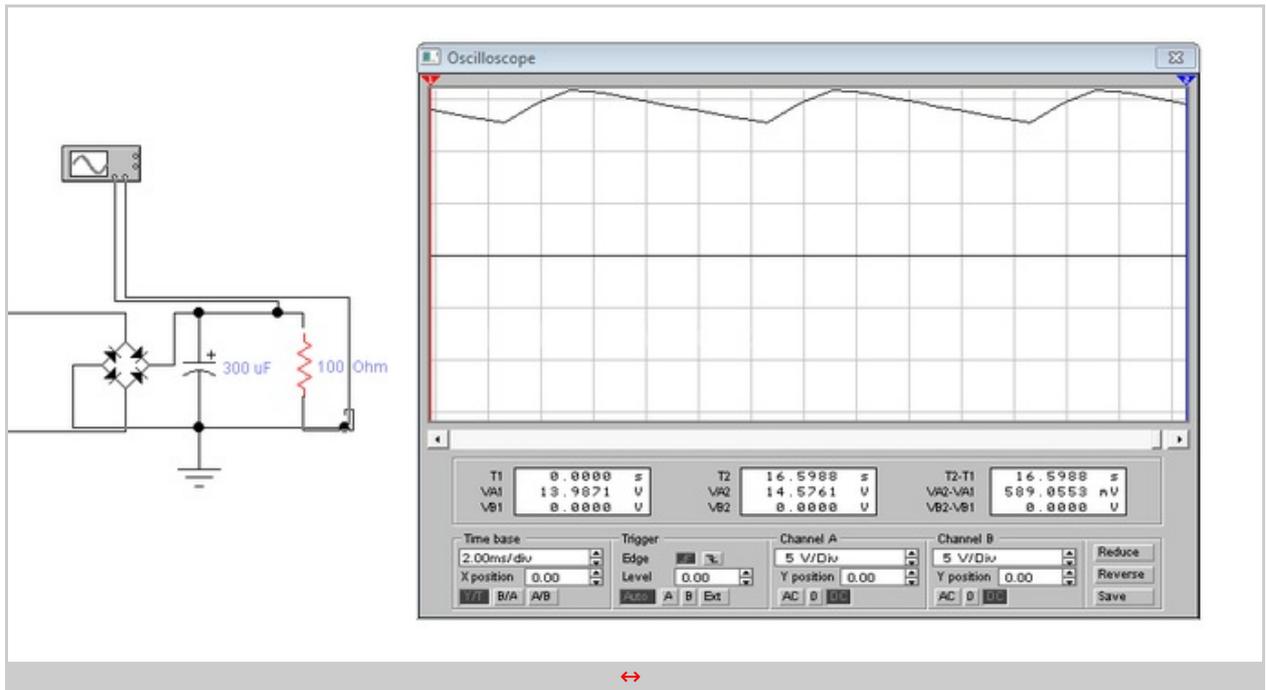
↔



↔

• Carico 100 Ohm

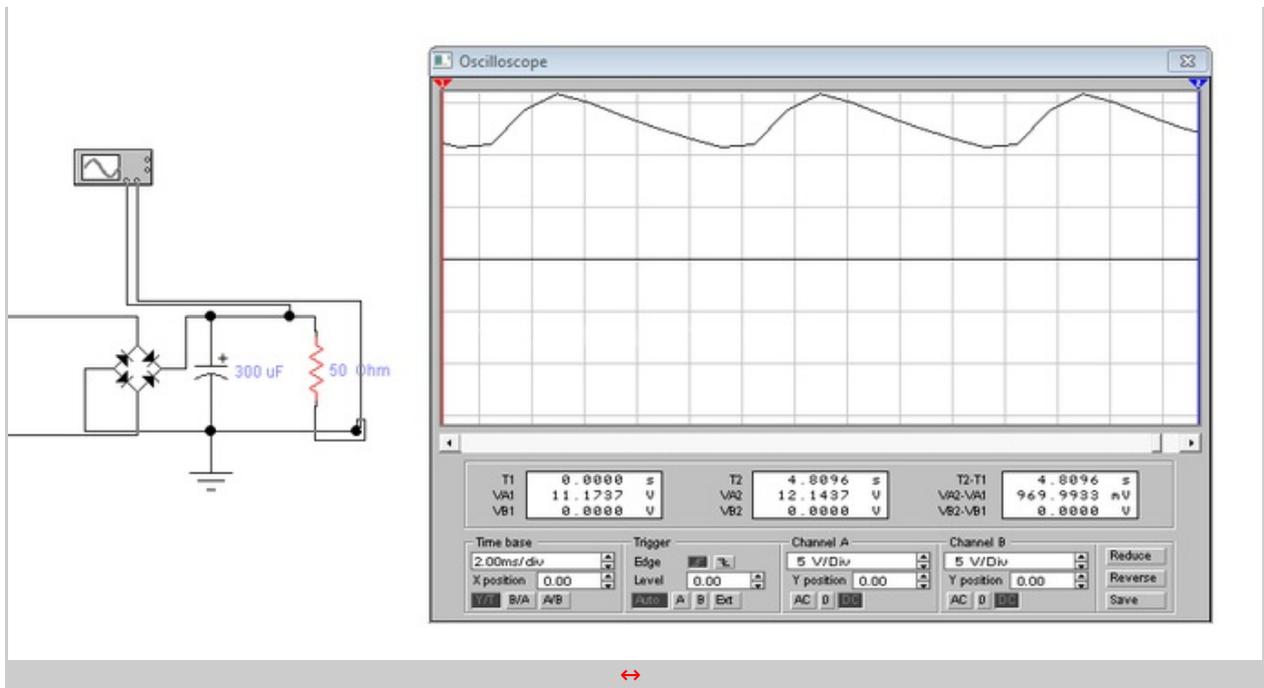
↔



↔

• Carico 50 Ohm

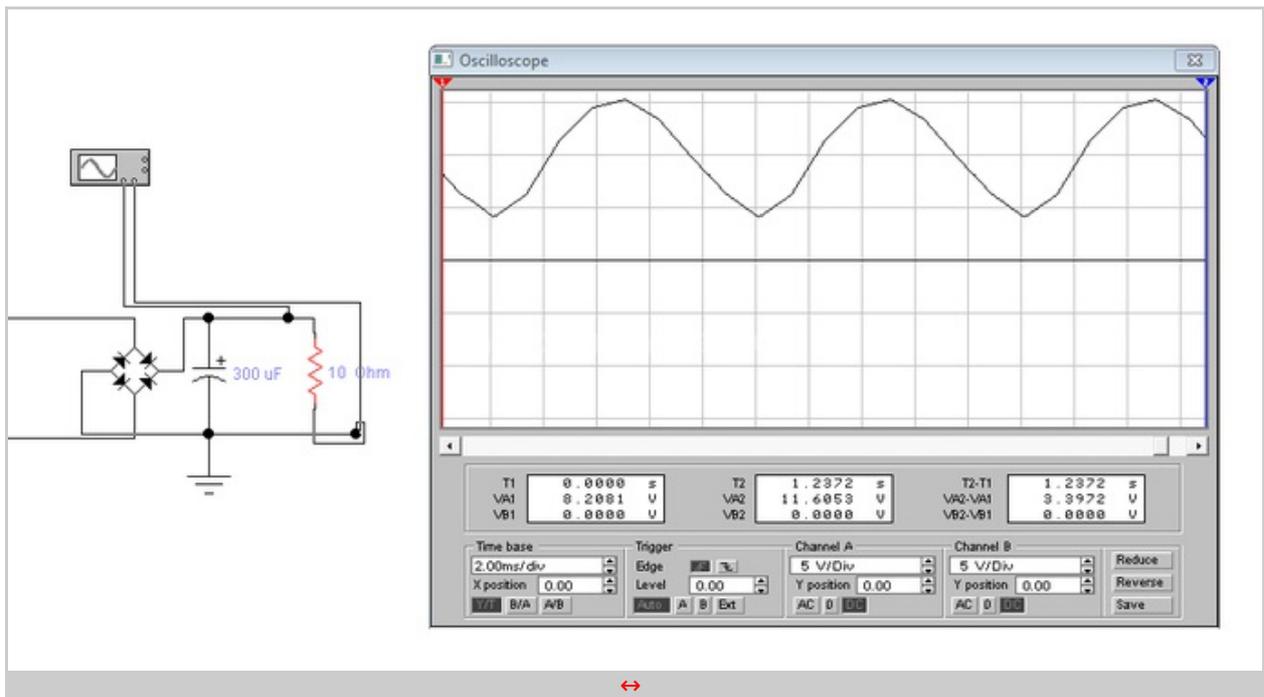
↔



↔

• **Carico 10 Ohm**

↔



↔

Risulta quindi chiaro che realizzare un alimentatore "stabile" (stabilizzato) con questi soli componenti non è proponibile.

↔

↔

**4. AC-DC: conclusione**

**4. AC-DC: il regolatore di tensione**

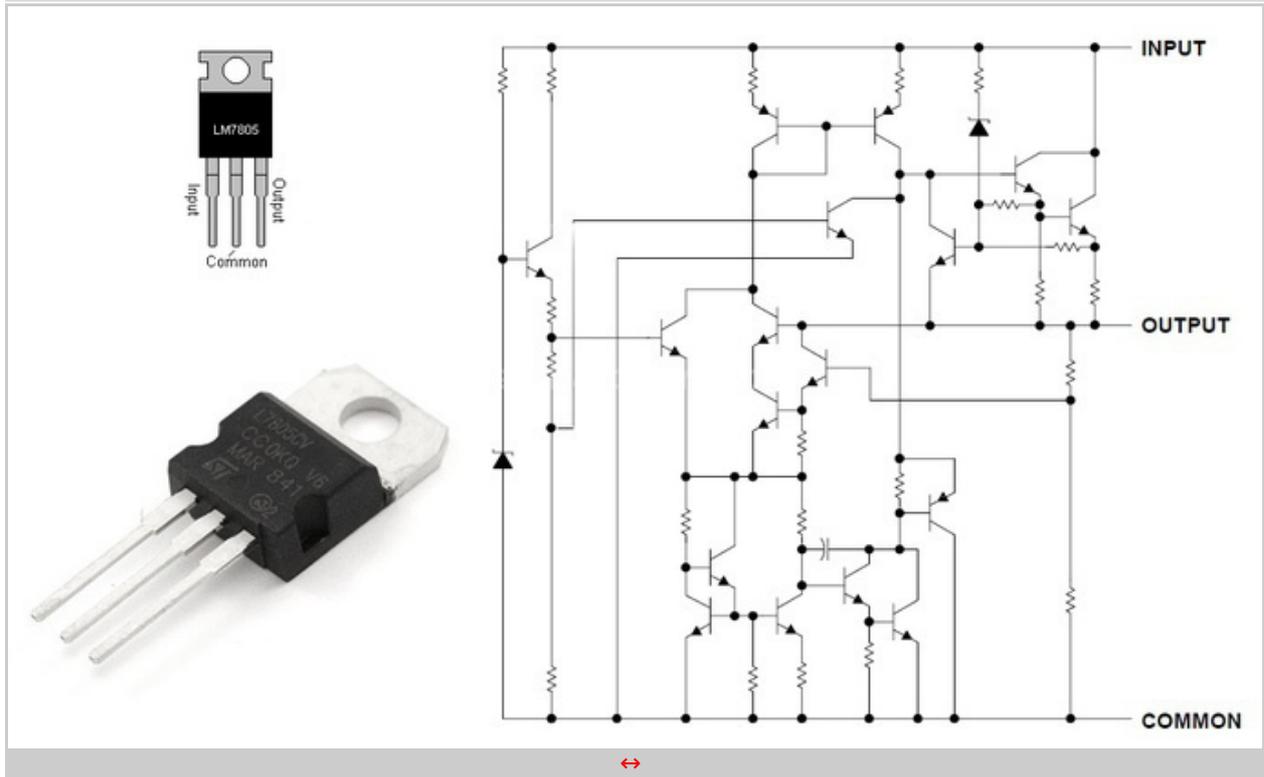
↔

***Per ottenere una tensione perfettamente stabile occorre qualcosa in più ...***

↔

Gli alimentatori classici (lineari) riescono a stabilizzare la tensione d'uscita indipendentemente dal carico (entro i limiti di progettazione) grazie a regolatori di tensione.

↔

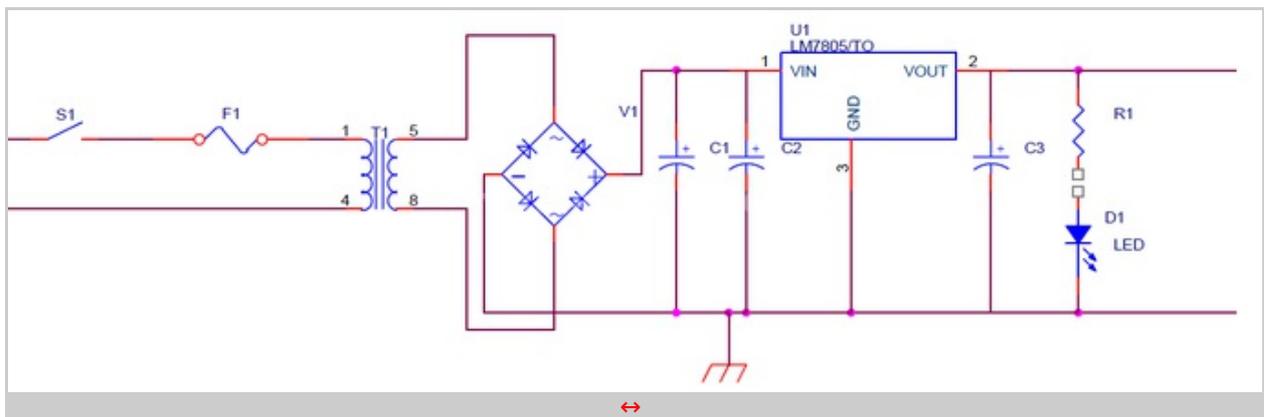


↔

Nella figura è mostrato l'[LM7805](http://www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM7805.pdf) (<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM7805.pdf>), un regolatore che fornisce in uscita un tensione stabile a 5V partendo da un ingresso "sporco" con ampiezza sufficientemente più alta di quella d'uscita (superiore ai 7V), riuscendo a filtrare oscillazioni anche del 40%.

Analizzare la struttura interna di questo componente, particolarmente complessa, esula dallo scopo dell'articolo, per cui ci limitiamo a dire che tramite una fitta rete di transistor bipolari (BJT) questo piccolo componente fornisce 1A di corrente massima e 5V stabili con oscillazioni nell'ordine di 200 microVolt, ulteriormente eliminabili con l'uso di condensatori a valle.

↔



↔

Il diodo led in uscita ha il solo scopo di segnalare il funzionamento dell'alimentatore.

In questa breve presentazione non abbiamo accennato al dimensionamento dei componenti; nello specifico, le capacità ed il tipo di trasformatore da utilizzare dipendono fortemente dall'LM utilizzato (e quindi dalla tensione d'uscita) nonché della necessità di dissipare il regolatore di tensione.

Seguendo lo stesso principio è possibile realizzare un alimentatore duale (es. +/- 5V), variabile (es. da 0 a 15V) o con corrente massima d'uscita superiore a quella del singolo regolatore.

Dopo aver compreso i principi che stanno alla base di un alimentatore stabilizzato, passiamo ad osservare un moderno alimentatore per PC, quanto sarà diverso?

↔

↔

## 5. L'alimentatore in dettaglio

### 5. L'alimentatore in dettaglio

↔

***Un alimentatore per PC è sostanzialmente differente da quanto visto in precedenza ...***

↔

In realtà un moderno alimentatore per PC è sostanzialmente differente da quanto visto sinora, perchè basato sulla tecnica switching.

Fino al 1980 gli alimentatori per PC erano molto grossi e pesanti perchè di tipo lineare, basati quindi su trasformatori d'ingresso voluminosi e grandi condensatori.

Le dimensioni non erano l'unico difetto, dal momento che la rilevante potenza dissipata dal regolatore di tensione rispetto a quella erogata, comportava un'efficienza anche al di sotto del 60%.

Con l'introduzione degli alimentatori switching, le dimensioni si sono ridotte ed il peso è diminuito.

Il motivo è dovuto al fatto che un trasformatore richiede un nucleo ferromagnetico più piccolo e compatto all'aumentare della frequenza del segnale da trasformare.

Nei moderni alimentatori la tensione d'ingresso, prima di essere ridotta, viene portata da 50Hz a diverse decine o centinaia di KHz.

Ovviamente a questi pregi si affiancano dei difetti dovuti al ripple (variazione dell'uscita) più elevato e alla generazione di componenti spurie ad alta frequenza.

↔





↔

L'alimentatore che analizzeremo a titolo d'esempio è l'[Enermax Platimax 1200W](http://www.nexthardware.com/recensioni/alimentatori/609/enermax-platimax-1200w.htm) (<http://www.nexthardware.com/recensioni/alimentatori/609/enermax-platimax-1200w.htm>).

Partendo dall'ingresso non troviamo il trasformatore come negli alimentatori lineari, ma una serie di componenti tra cui il fusibile di protezione e l'insieme di condensatori ed induttori che vanno a costituire il filtro EMI.

↔



↔

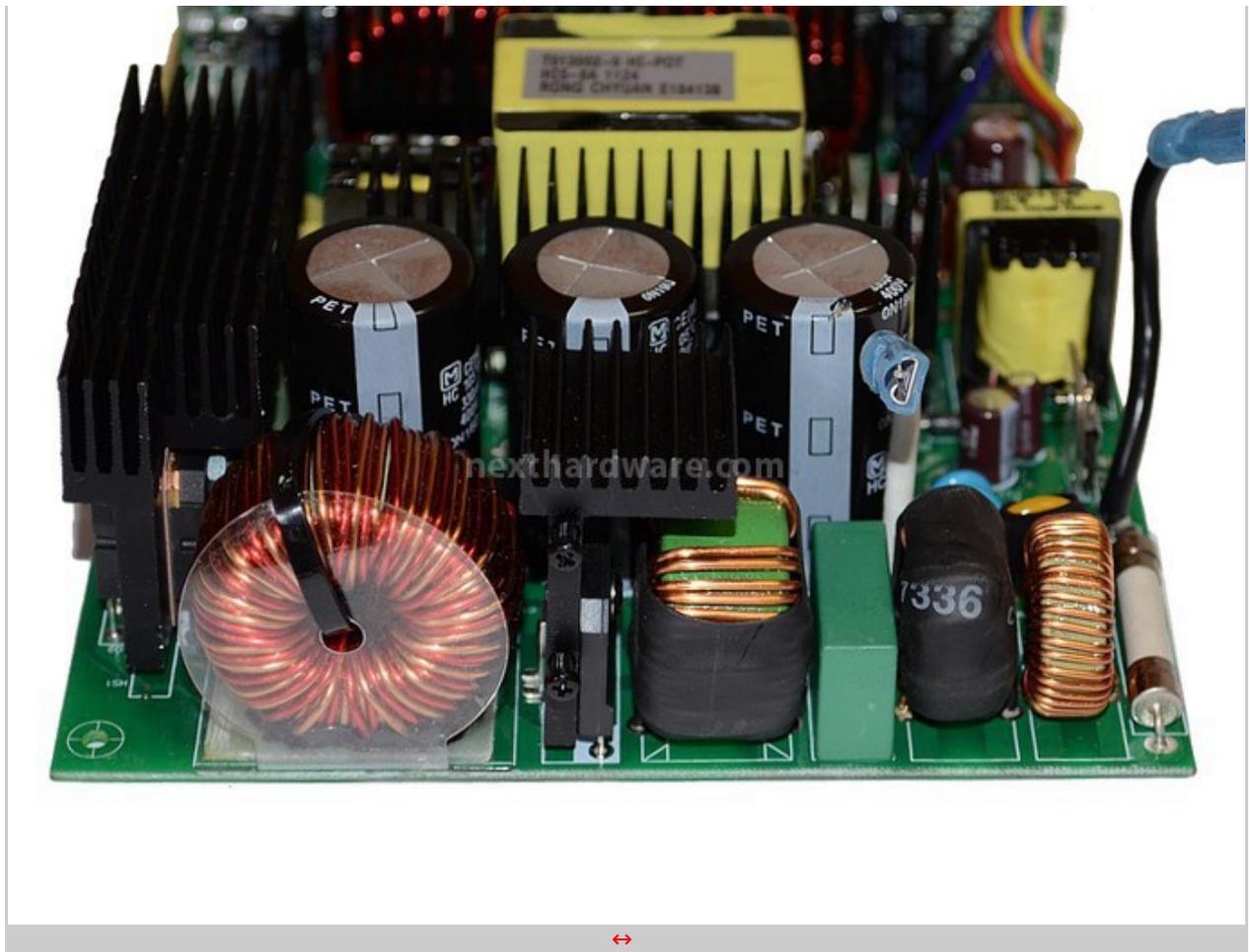
Il filtro anti impulsi elettromagnetici è un filtro passabasso passivo che consente al dispositivo di rientrare nella normativa sulla compatibilità elettromagnetica.

Difatti, lavorando su alte frequenze, un alimentatore switching potrebbe immettere sulla rete elettrica componenti ad alta frequenza che andrebbero a disturbarne altre.

Ovviamente il filtro impedisce anche ad eventuali disturbi di entrare nell'alimentatore.

↔

---



↔

Supera la barriera la sola tensione alternata che giunge direttamente al ponte raddrizzatore senza subire ancora riduzioni.

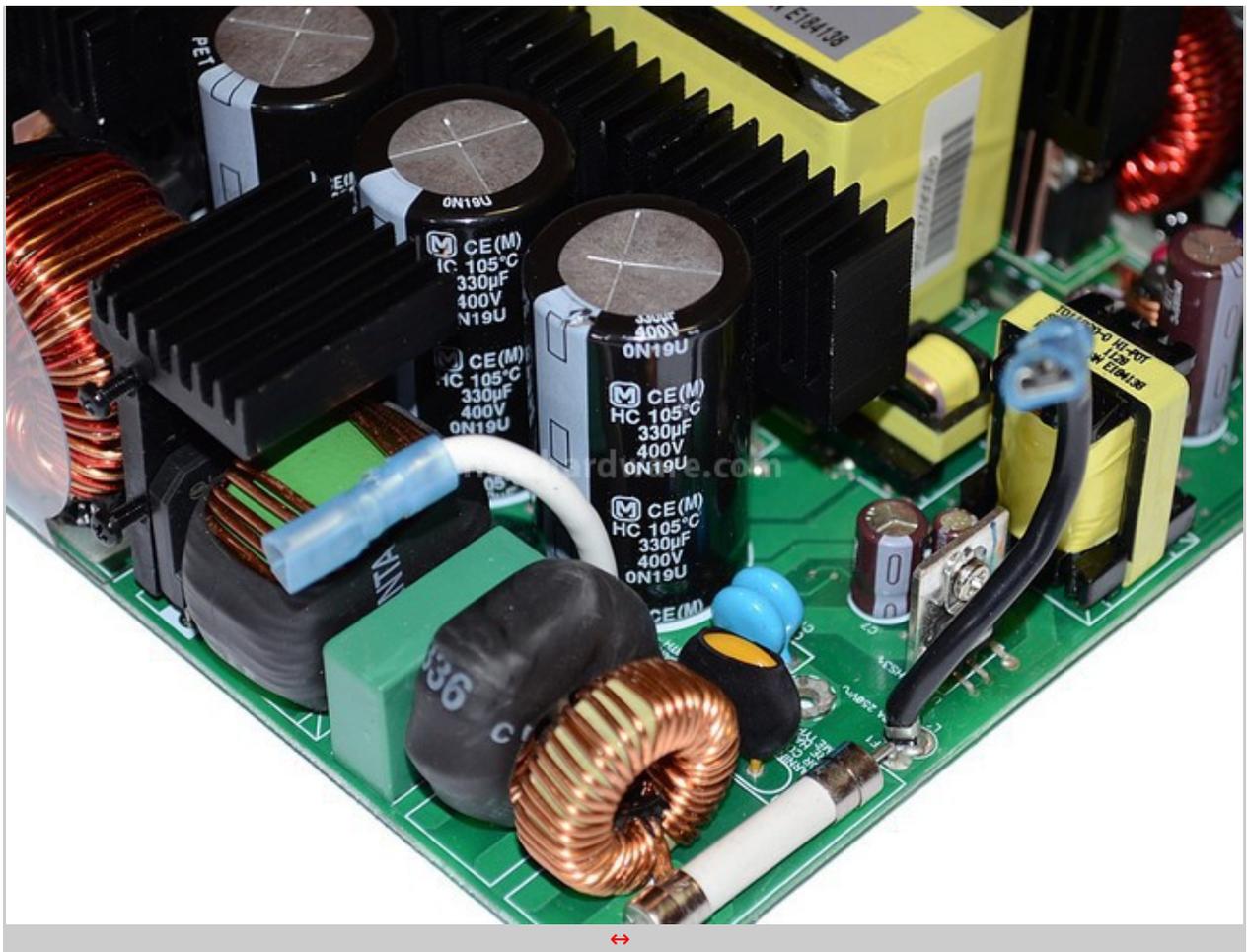
Enermax ha scelto di utilizzare un unico ponte particolarmente grande, altri produttori utilizzano più ponti in parallelo di dimensioni più contenute.

Il componente di per sé causa ridottissime perdite di potenza, ma la sua capacità di fornire corrente è fortemente dipendente dalla temperatura, motivo per cui gli si affianca un dissipatore condiviso o dedicato.

Dopo essere stata raddrizzata, la doppia semionda viene filtrata attraverso dei condensatori di grande capacità, il cui numero e dimensione è fortemente variabile da↔ prodotto a prodotto.

Il Platimax 1200W dispone di tre condensatori da 330uF in parallelo.

---



↔

La capacità e la massima tensione di esercizio non sono gli unici parametri che interessano i condensatori elettrolitici.

Un altro elemento che ne condiziona molto la longevità è la massima temperatura d'esercizio; i migliori componenti possono operare senza problemi fino a 105↔°C.

Nella foto soprastante si nota chiaramente un altro componente molto importante, il MOV (Metal Oxide Varistor), visibile in giallo ed avvolto in uno strato di plastica termorestringente.

Questo piccolo componente consente, entro certi limiti, di filtrare scariche provenienti dall'esterno impedendo che i picchi di tensione raggiungano altri componenti.

↔

↔

## 6. L'alimentatore: parte seconda

### 6. L'alimentatore: parte seconda

↔

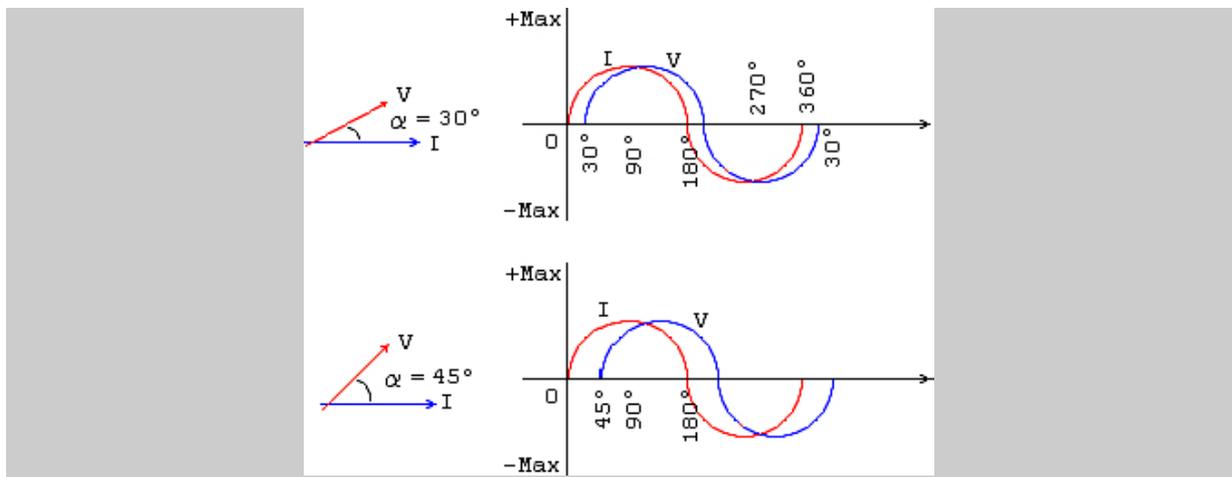
***Negli alimentatori switching il segreto è l'elevata frequenza.***

↔

In concomitanza con la rettifica ed il filtraggio troviamo il sistema di controllo del fattore di potenza, indicato con l'acronimo PFC: si tratta di un elemento non indispensabile al funzionamento dell'alimentatore, ma che è stato aggiunto successivamente per migliorarne l'efficienza.

Infatti, quando si opera in regime variabile, i componenti, quali condensatori ed induttori, introducono uno sfasamento tra tensione e corrente; può quindi capitare che le variazioni di corrente siano in anticipo o in ritardo rispetto a quelle di tensione.

↔



↔

Maggiore è lo sfasamento, più alto sarà il prezzo da pagare per l'energia elettrica utilizzata.

La potenza in continua è data dal prodotto dei valori di tensione e corrente ( $P=V \cdot I$ ), mentre in regime sinusoidale va aggiunto lo sfasamento, quindi  $P=V \cdot I \cdot \cos(\alpha)$ .

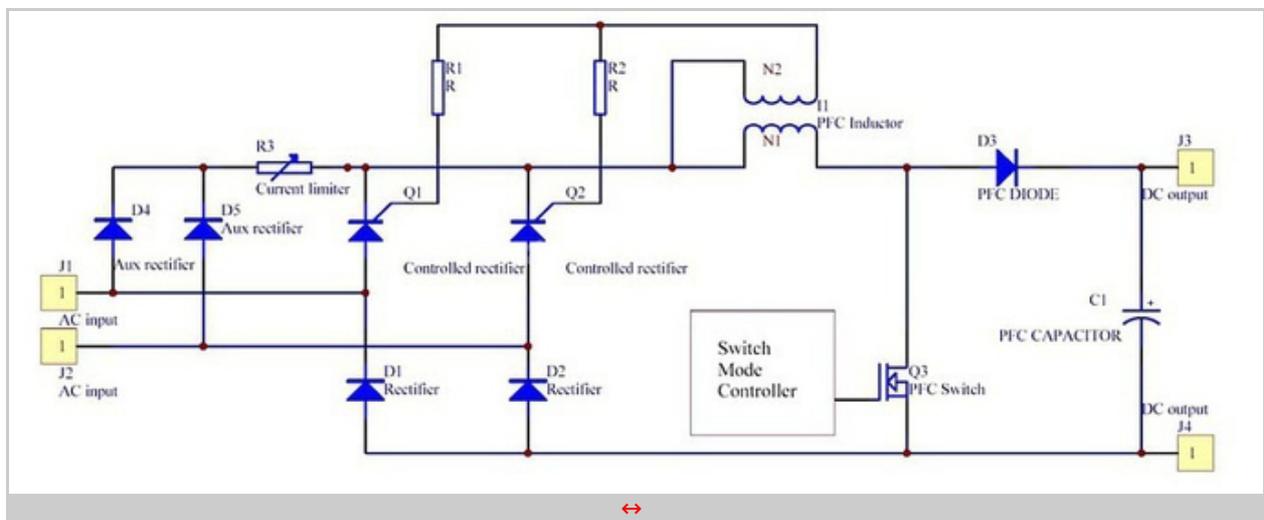
Se  $\cos(\alpha)$  è molto piccolo, ad esempio 0,7, avremo la necessità di assorbire una corrente 1,4 volte maggiore per generare la stessa potenza.

L'inutile aumento di corrente (che viene in un certo senso sprecata) verrà conteggiato incrementando il costo della bolletta a fine mese.

Il caso migliore è con fattore di potenza  $\cos(\alpha)$  pari ad uno; ciò si realizza in assenza di sfasamento ( $\alpha=0$ ).

Nella realtà, gli alimentatori con PFC attivo riescono a raggiungere valori di  $\cos(\alpha)$  di 0,99.

↔



↔

Il sistema è costituito da un circuito di controllo che, pilotando la gate di un transistor, regola il fattore di potenza.

Il transistor, ovviamente, da solo non può alterare lo sfasamento, ma il suo intervento condiziona l'induttore ed i condensatori (quelli di filtraggio precedentemente visti) la cui azione combinata può rifasare la corrente.

↔



↔

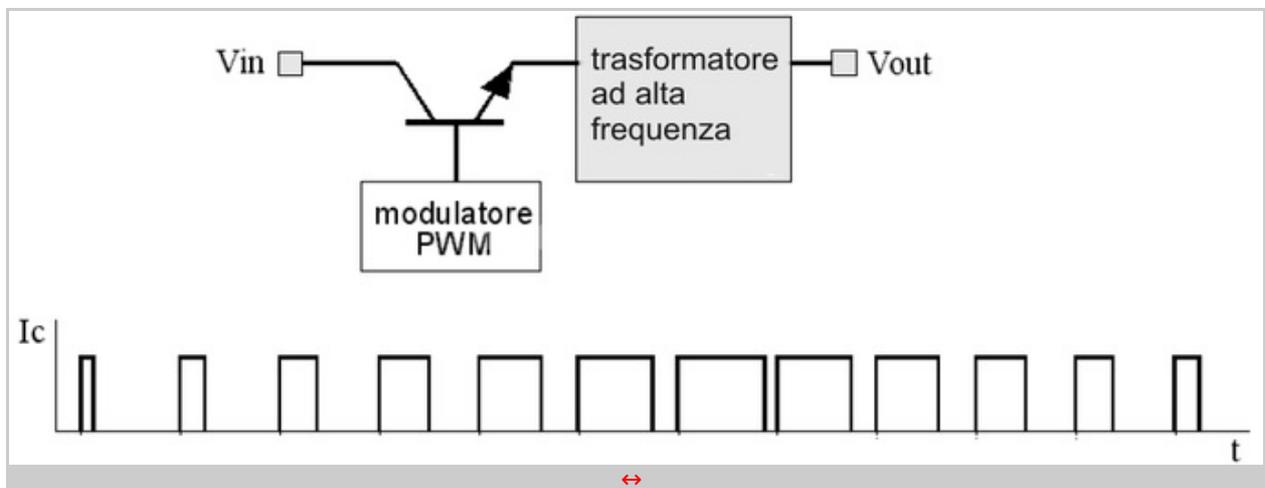
Nell'immagine di cui sopra si notano chiaramente i due transistor di controllo ed il grosso induttore alla loro destra.

Lo stadio successivo comprende i transistor di switching.

La loro funzione, precedentemente accennata, è quella di incrementare la frequenza del segnale da inviare al trasformatore in modo da poter ridurre le dimensioni di quest'ultimo a parità di potenza erogata.

Il funzionamento è alquanto semplice, i transistor si trovano in perenne commutazione tra interdizione e saturazione (ON/OFF): questo causa la generazione di una successione di impulsi ad alta frequenza.

↔



↔

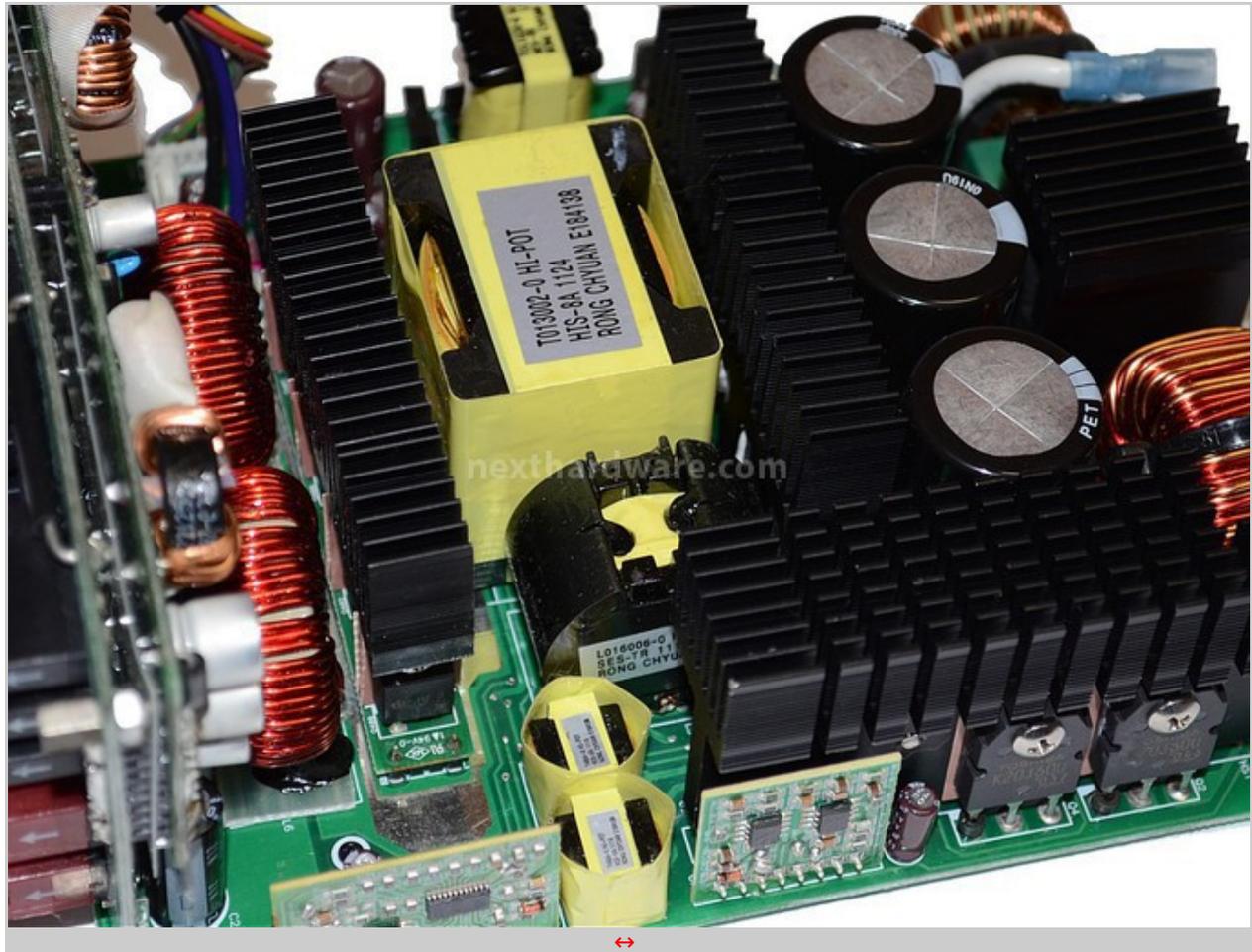
Lo schema è indicativo, difatti in luogo del BJT si usano Mosfet di potenza molto più veloci nella commutazione.

Il circuito di modulazione è solitamente posto su una daughterboard condivisa o separata da quella del controllore del PFC.↔

Entrambi i circuiti consentono di adattare il comportamento dell'alimentatore sia al variare del carico, sia al variare della tensione di alimentazione; difatti gli alimentatori con PFC attivo possono essere impiegati senza alcuna modifica sia con i 230V europei sia con i 110V americani.

Il segnale ad alta frequenza con tensione ancora elevata viene inviato al trasformatore, il quale provvederà a ridurne la tensione fino al valore compatibile con il successivo stadio.

↔



↔

↔

Gli alimentatori moderni, e ancor più quelli di fascia alta, utilizzano un solo trasformatore preposto alla generazione dei 12V dalla quale poi verranno ricavate le tensioni inferiori.

Tuttavia, come è possibile vedere dall'immagine, sul PCB sembrano essere presenti altri trasformatori di dimensioni inferiori.

In realtà solo uno di loro è un reale trasformatore, quello dedicato alla linea da 5Vsb (tensione di Stand-By).

Gli altri hanno funzioni completamente differenti, in particolare i due piccoli trasformatori in basso fungono da isolatori nel circuito del fattore di potenza.

↔

↔

## 7. L'alimentatore: parte terza

### 7. L'alimentatore: parte terza

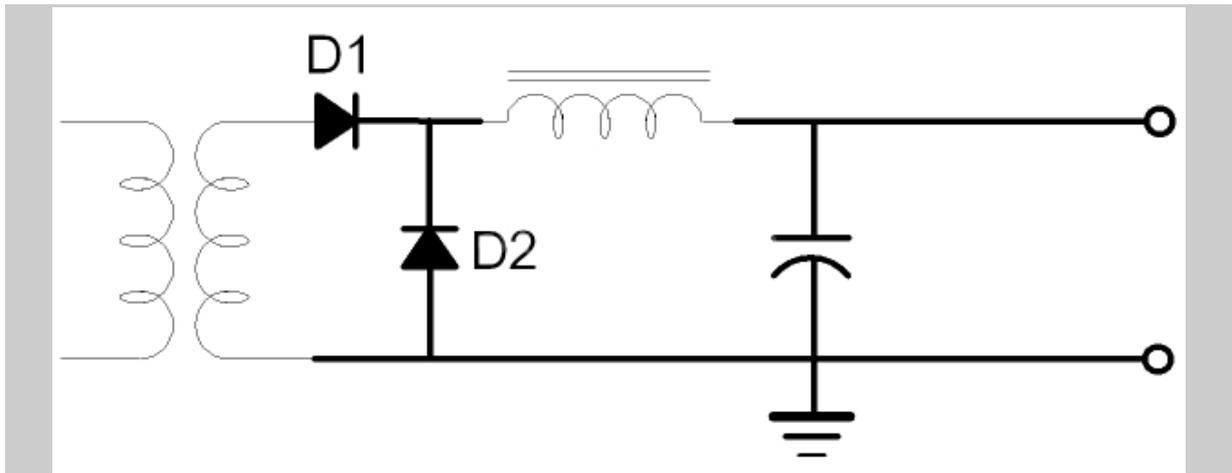
↔

***L'ultima fase riguarda la stabilizzazione della tensione d'uscita affetta dalle componenti ad elevata frequenza ...***

↔

L'ultimo stadio è costituito da circuito di rettifica, che tramite rettificatori a diodo (es. STPR1620) ed un filtro passabasso, composto da induttore e condensatore, "spiana" la serie di impulsi in una tensione continua.

↔



↔

In realtà , negli alimentatori ad elevata efficienza, come quello preso in esame, i rettificatori a diodo vengono sostituiti da Mosfet.

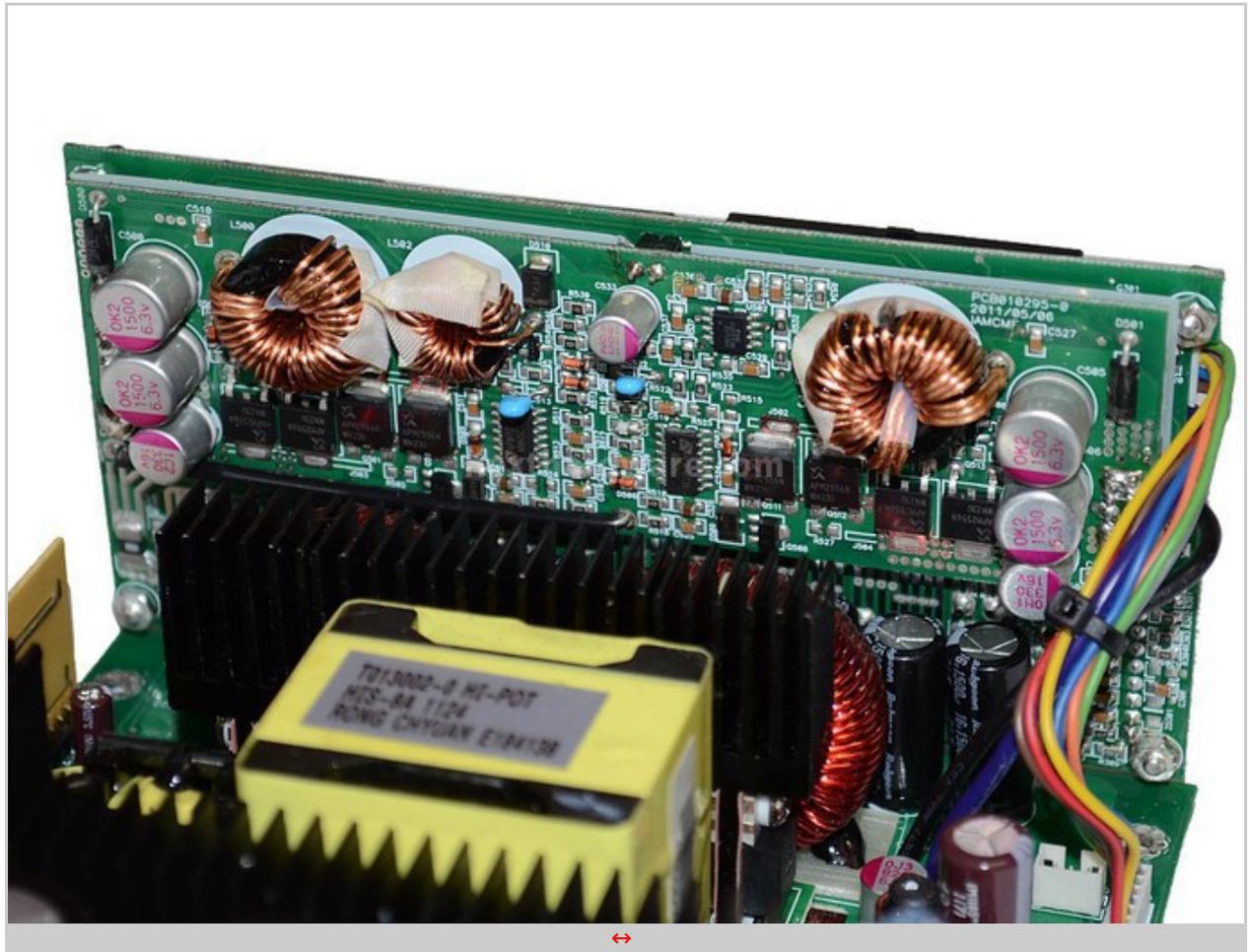
Nell'immagine sottostante sono chiaramente distinguibili i due induttori d'uscita e la corposa linea di condensatori elettrolitici.



↔

Il dissipatore visibile tra il trasformatore ed i due induttori toroidali si occupa del raffreddamento degli otto transistor di rettifica.

↔



↔

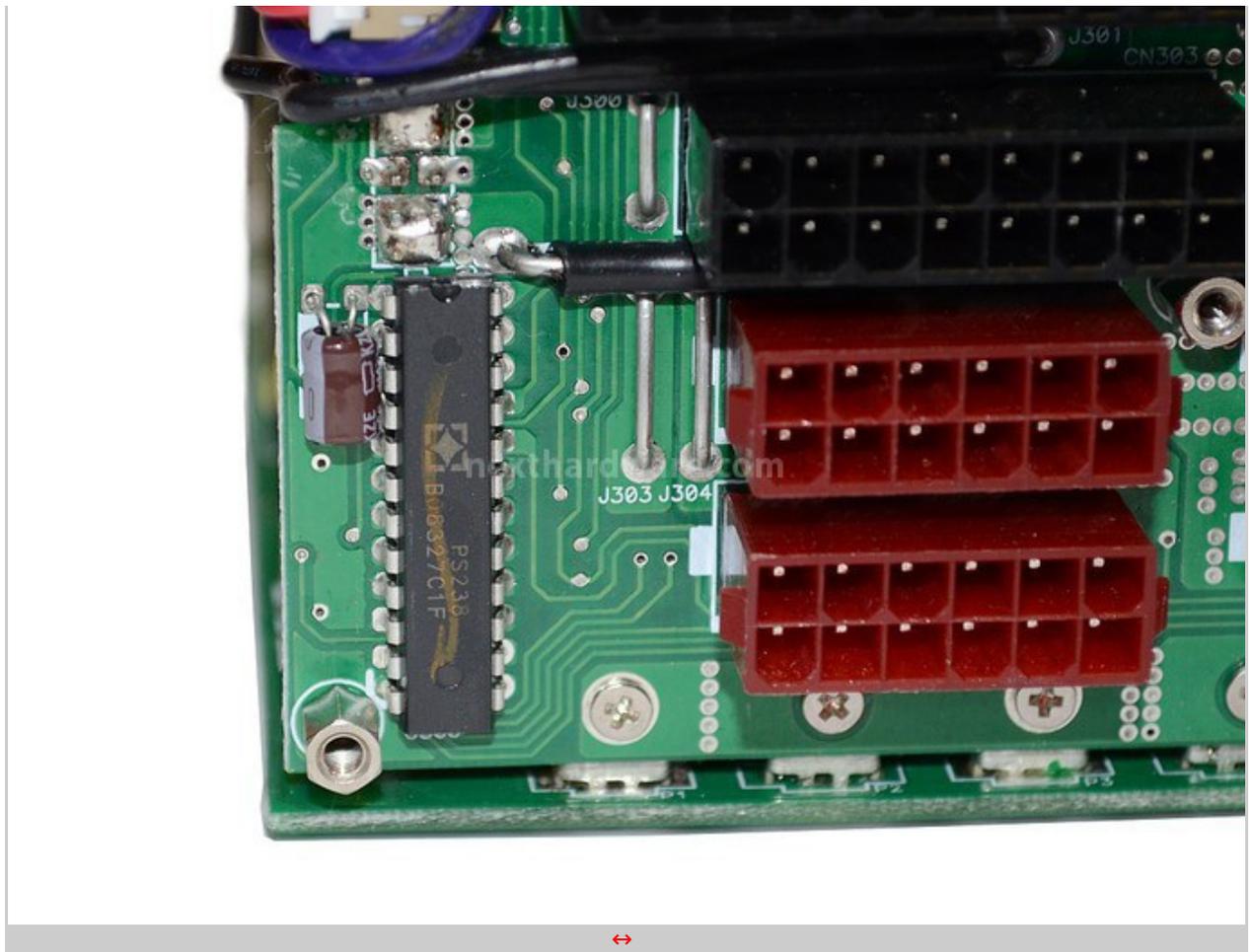
Le tensioni inferiori da 5V e 3,3V vengono prodotte in diversi modi: prevedendo due circuiti trasformatore/rettificatore indipendenti, o rendendo indipendente la sola 5V e ricavando i 3,3V da quest'ultima, oppure, come è ormai prassi, creando le due tensioni direttamente dall'uscita a 12V tramite schede di conversione DC-DC che trasformano i 12V in 5V e 3,3V tramite la modulazione PWM e successivo filtraggio.

Ovviamente il Platimax utilizza quest'ultima tecnica che consente di massimizzare l'efficienza eliminando inutili sprechi.

Nell'immagine soprastante sono chiaramente visibili i quattro mosfet per linea ed il filtro con condensatori allo stato solido.

↔

---



↔

Concludiamo l'osservazione con il dispositivo di protezione mediante il quale si protegge l'alimentatore dal surriscaldamento, da sovratensioni, sovraccarico e cortocircuito.

L'integrato utilizzato da Enermax è il PS238.

↔

## 8. High-end vs Low-end

### 8. High-end vs Low-end

↔

***Quali saranno le differenze che giustificano significativi esborsi per gli alimentatori di fascia alta?***

↔

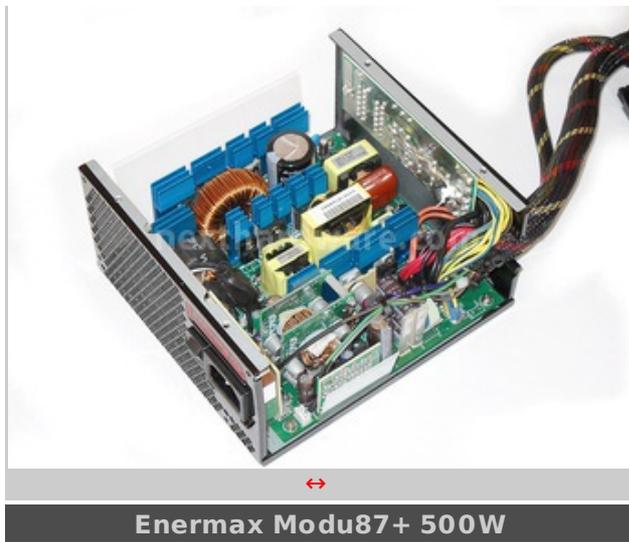
La differenza tra un alimentatore High-end ed uno di fascia bassa risiede in molteplici fattori tra cui:

- qualità dei componenti;
- sistemi di protezione;
- grado di progettazione;
- soluzioni tecniche utilizzate.

Per rendere meglio l'idea diamo un'occhiata all'interno di due alimentatori da 500W.

↔

---



↔  
**Enermax Modu87+ 500W**



↔  
**OEM 500W**

↔

La differenza è lampante e diverrà ancor più chiara con uno sguardo ravvicinato.

Nel modello economico il filtro EMI è estremamente ridotto ed utilizza componenti visibilmente di scarsa qualità .

↔



↔

↔

Altra differenza è il ponte raddrizzatore costituito per questo modello da quattro diodi discreti non dissipati in luogo di un unico componente.

Intravedere due condensatori al primo stadio lascia ben sperare, ma guardandoli da vicino ci si accorge subito che qualcosa non va.



↔

Sono certificati per operare a 200V di picco, quando invece abbiamo potuto vedere che la semionda positiva arriva ad oltre 300V; ecco quindi il motivo per cui sono due.

Essendo collegati in serie, la tensione viene distribuita su entrambi consentendo ai due condensatori di sostenere tensioni di 400V.

Sembrebbe non esserci alcun problema, ma basta ricordare che ponendo in serie due condensatori uguali si dimezza la loro capacità, per cui questi due condensatori equivalgono ad un solo componente da 400V e 165 microFarad contro i 330 microFarad dell'Enemax.

Il sistema a doppio condensatore è utilizzato anche negli alimentatori con doppio ingresso (110/220 V) in cui non è presente il controllo del PFC; in tal caso, infatti, l'alimentatore non è in grado di adeguare autonomamente il funzionamento e si utilizza il doppio condensatore come raddoppiatore di tensione.

↔

## 9. High-end vs Low-end: parte seconda

### ↔ 9. High-end vs Low-end: parte seconda

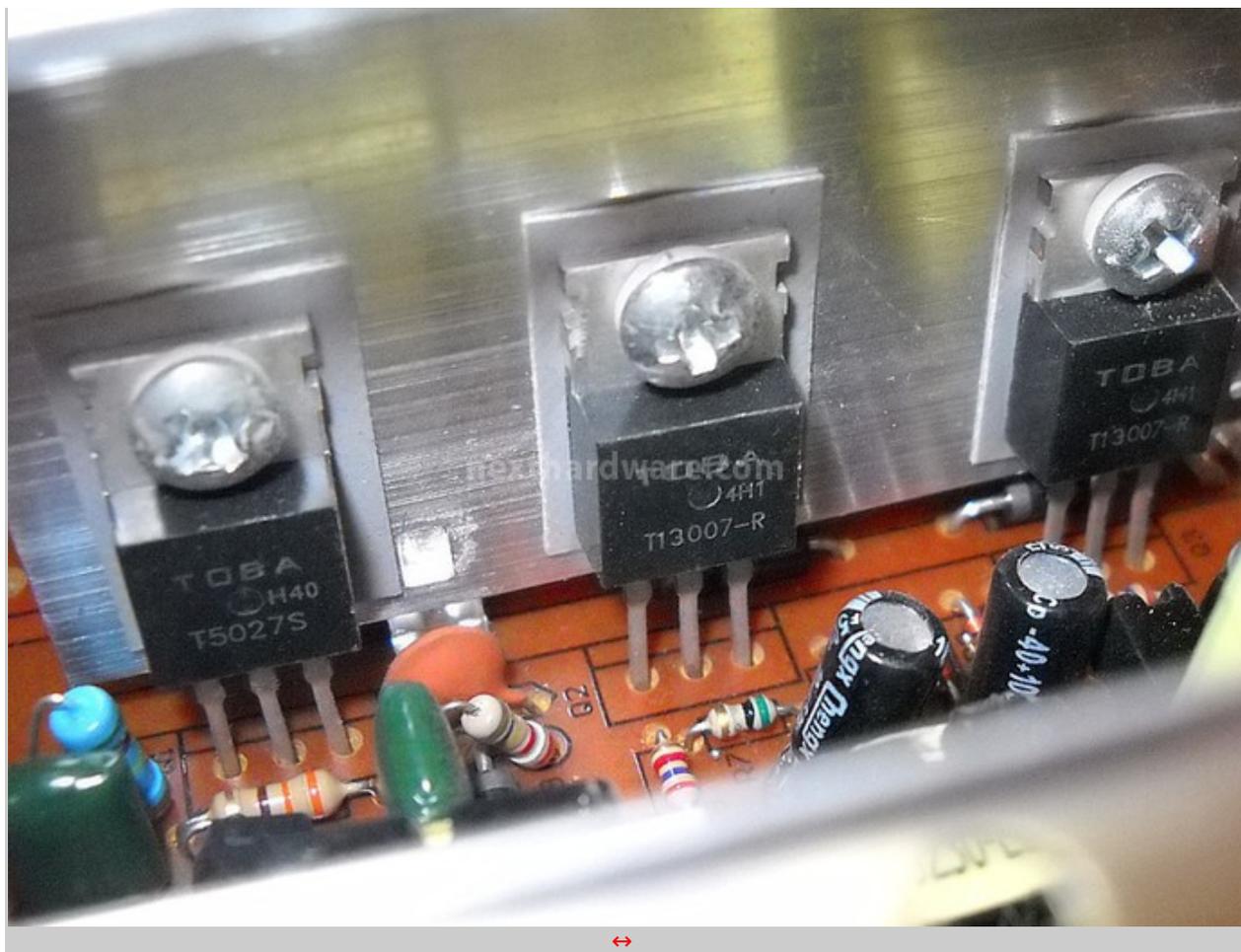
↔

***Le differenze tra gli alimentatori agli estremi del mercato sono molteplici ed interessano l'intero PCB ...***

↔

Sul PCB non c'è alcuna traccia del PFC, per cui passiamo direttamente allo stadio primario costituito dai transistor di switching.

↔



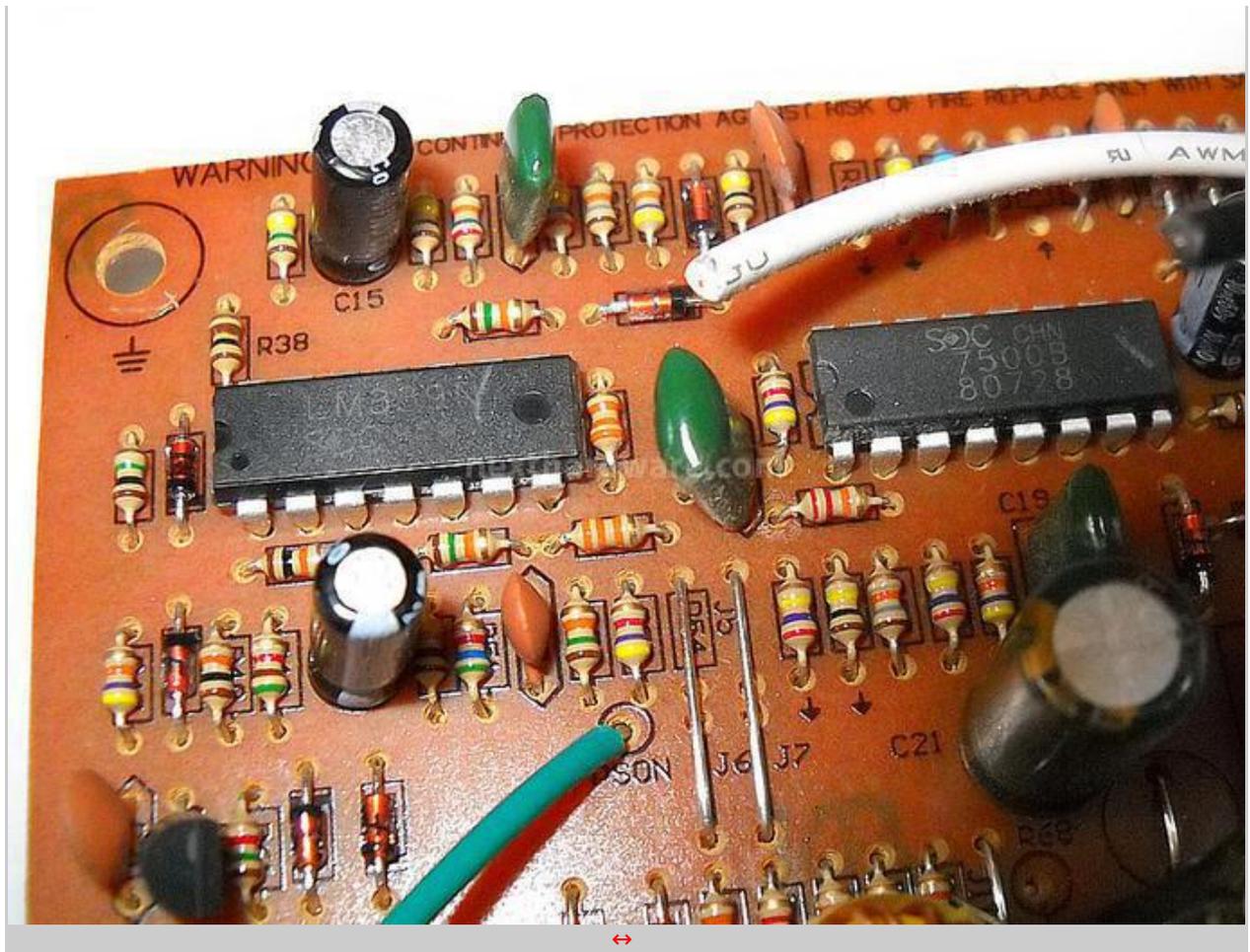
↔

Si tratta di modelli bipolari (BJT) di tipo NPN (t13007-r).

La modulazione è affidata al controller PWM 7500B affiancato sulla sinistra dall'LM339 contenente quattro comparatori.

↔

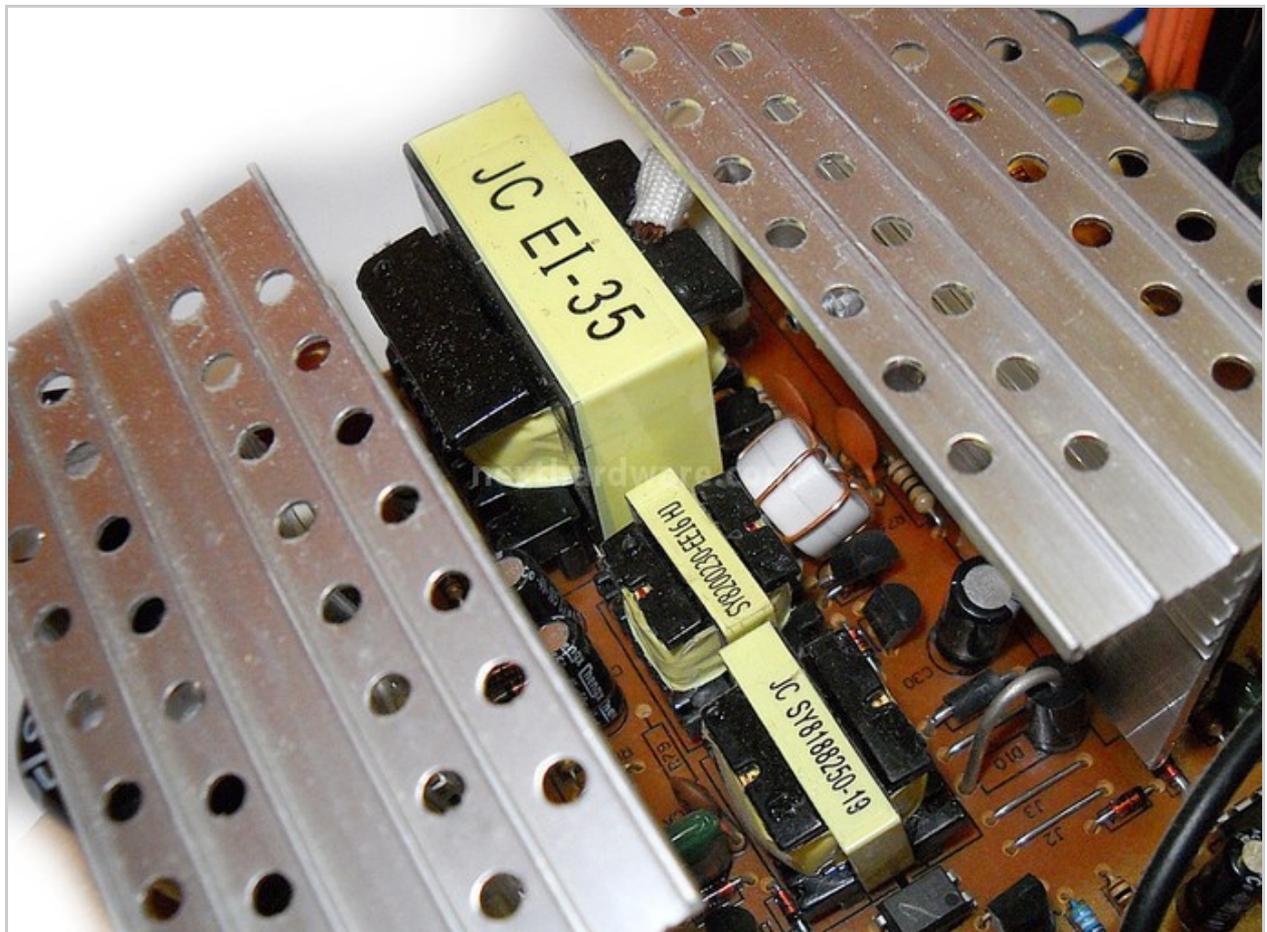
---



↔

Insieme creano il circuito di controllo/oscillatore necessario al pilotaggio dei transistor di switching.

↔

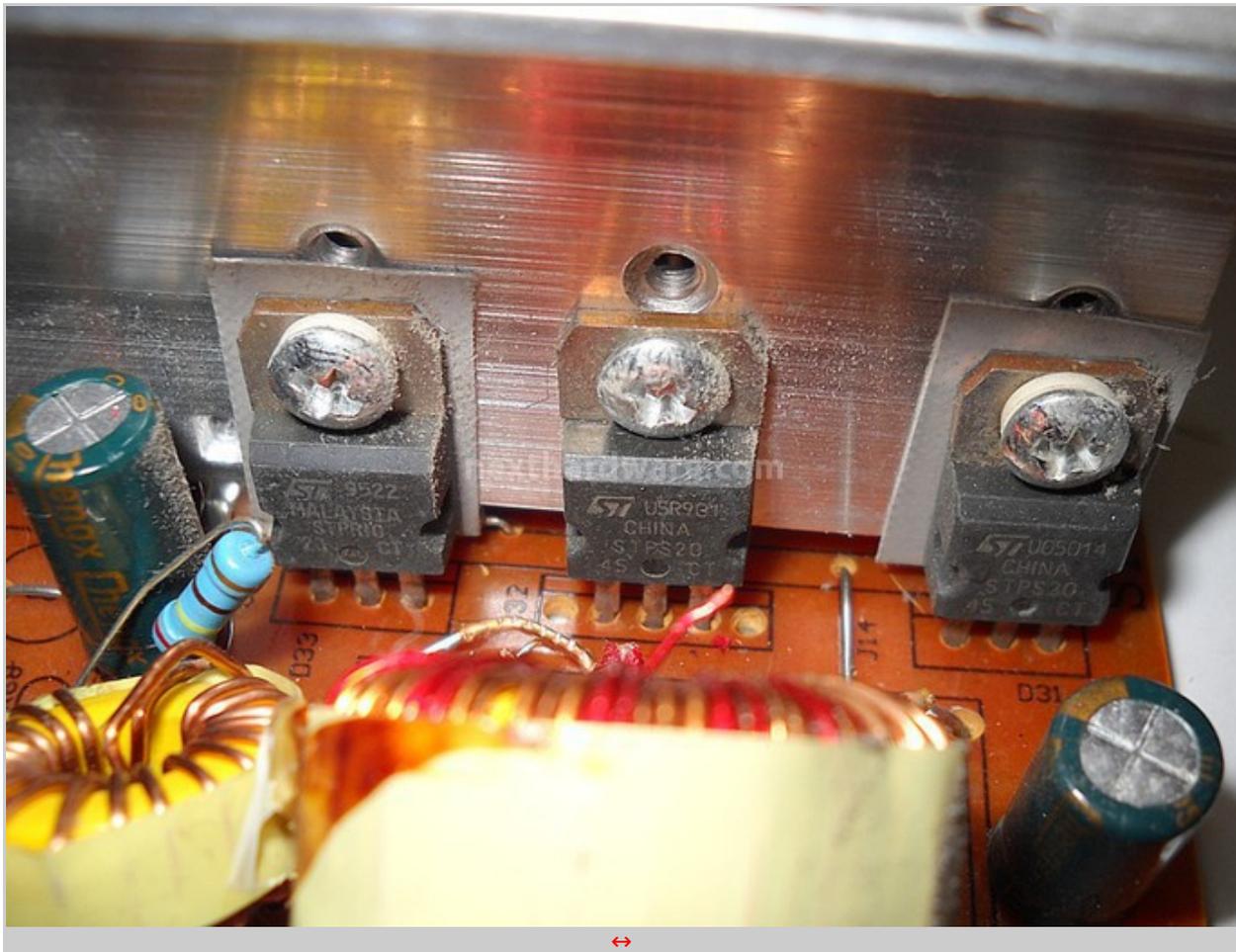




↔

Il sistema di trasformazione è l'unico che concettualmente resta invariato, non si può dire lo stesso sulla qualità dei componenti impiegati.

↔



↔

Dando uno sguardo allo stadio secondario troviamo da sinistra a destra:

- STPR1020CT: rettificatore a diodo da 10A (3,3V ≈ 33W)
- STPS2045CT: rettificatore a diodo da 20A (5V ≈ 100W)
- STPS3045CT: rettificatore a diodo da 30A (12V ≈ 360W)

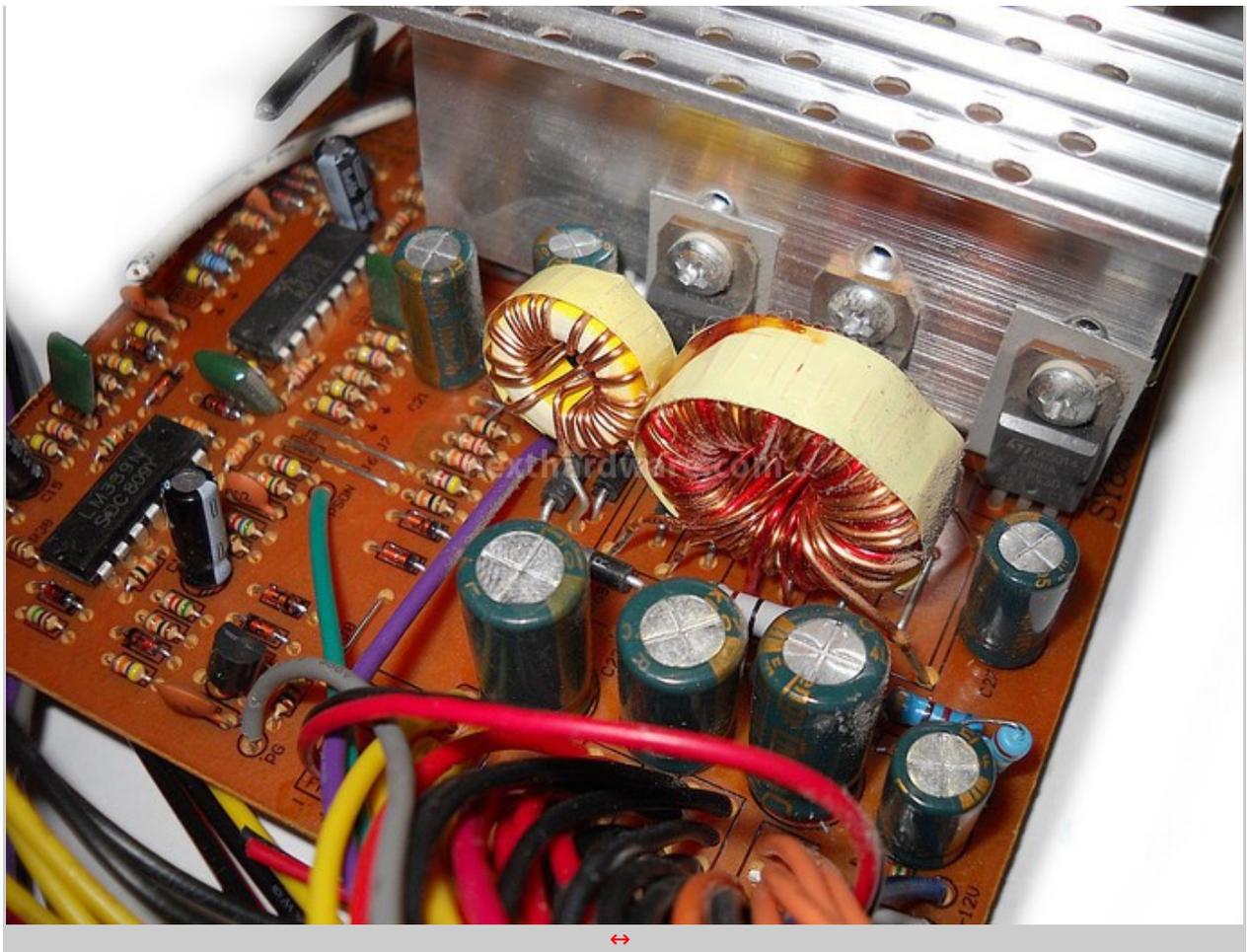
I tre regolatori mettono a disposizione un massimo di 493W.

Il Modu87+ di Enermax offre invece 41A totali forniti da tre linee da 12V con 25A di picco ciascuna per un totale di 492W, quindi una potenza ben lontana da quella sostenibile dai singoli rettificatori.

Le tensioni da 3,3V e 5V erogano un massimo di 100W che vanno a sottrarsi ai 492W per cui, nel peggiore dei casi, avremo 393W da utilizzare sui 12V.

Ovviamente la soluzione Enermax è molto più flessibile di quella offerta dall'alimentatore economico.

↔



Concludiamo con il filtro d'uscita, costituito da un esiguo numero di condensatori e da induttori di dubbia qualità .

Al termine di questo confronto è lampante l'abissale differenza che separa i due prodotti.

Ovviamente, così come le prestazioni, anche il prezzo è completamente differente, si va dai 20/30 €, del modello OEM a più di 100 € per il Modu87+.

Morale della favola? Ve la suggerisce Corsair ...

↔

↔

A quanto pare, continuare a sostituire componenti scadenti prematuramente scomparsi, potrebbe costare più che comprare fin da subito un alimentatore degno di questo nome.

↔

## 10. Conclusioni

### 10. Conclusioni

↔

*Ricapitolando ...*

↔



↔

Come abbiamo potuto osservare, gli alimentatori switching hanno rivoluzionato il settore consentendo di realizzare alimentatori di grande potenza in volumi estremamente contenuti.

Ma se da una parte l'efficienza è stata via via migliorata fino a superare il 90%, dall'altra troviamo una tensione d'uscita meno pulita e affetta da ripple più elevati anche in alta frequenza.

Ovviamente i vantaggi superano di gran lunga il piccolo difetto che, comunque, non produce alcun problema ed è facilmente filtrabile dagli stadi di alimentazione successivi.

Nelle applicazioni specifiche e negli strumenti da laboratorio si tende ad utilizzare ancora alimentatori lineari grazie alla maggiore precisione.

Concludiamo la nostra guida con pregi e difetti di questa tecnologia nei confronti di quella lineare.

↔

### **Pro**

- dimensioni inferiori a parità di potenza;
- elevata efficienza;
- calore prodotto estremamente contenuto;
- autoadattamento alla tensione d'ingresso;
- uscita retroazionata (tensione d'uscita adeguabile al carico);
- possibilità di raggiungere elevata potenza.

### **Contro**

- maggiore ripple;
- complessità circuitale;
- costo maggiore.

↔

↔