

# *Elettronica di* **POTENZA**

**L'elettronica di potenza ha il compito di gestire e controllare l'energia elettrica fornendo tensione e corrente in una forma che si addice in modo ottimale ai carichi utilizzatori. Vediamolo in dettaglio.**

Un generico sistema di potenza può essere rappresentato come in **figura 1**. In questo caso la potenza in ingresso proviene dalla linea elettrica (monofase o trifase a 50 o 60 Hz). Lo sfasamento tra corrente e tensione in ingresso dipende dalle caratteristiche del sistema di conversione. L'uscita viene adattata al carico a seconda delle sue esigenze.

In generale, l'uscita di un sistema di potenza può essere rappresentata mediante un generatore di tensione; lo sfasamento tra corrente e tensione di uscita dipende dal carico. Normalmente un sistema di controllo in anello chiuso confronta l'uscita del sistema di conversione

con un valore di riferimento (desiderato) e l'errore è reso minimo dal controllore stesso. Minore è l'errore, maggiore sarà l'efficienza del sistema di controllo. Negli ultimi anni il campo dell'elettronica di potenza ha avuto molti sviluppi, in particolare segnaliamo la presenza di DSP (Digital Signal Processor) che rappresenta il cuore del regolatore (**figura 3**). Un Digital Signal Processor in sigla DSP, è un microprocessore ottimizzato per eseguire efficientemente sequenze di istruzioni ricorrenti nel condizionamento di segnali digitali. I DSP utilizzano un insieme di tecniche, algoritmi che permettono di trattare un segnale continuo dopo che è stato campionato.

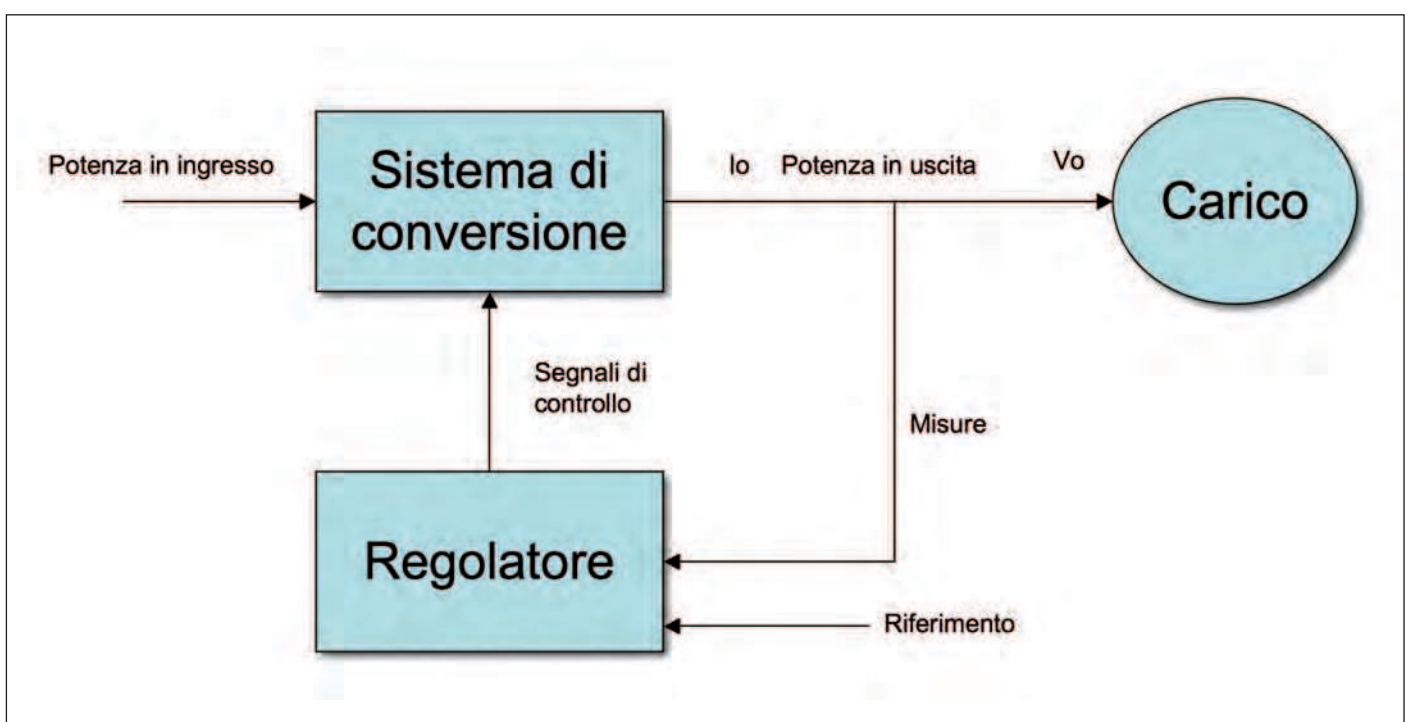


Figura 1: l'elettronica di potenza.

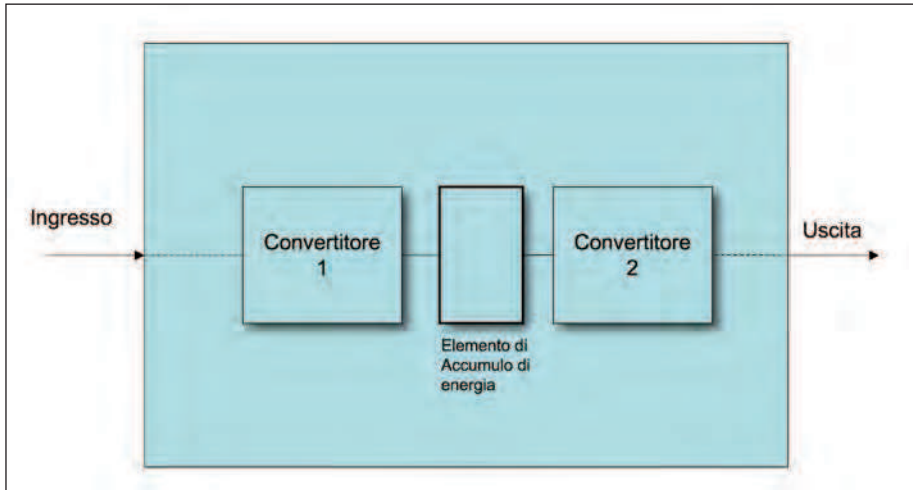


Figura 2: sistema di conversione.

In ogni processo di conversione è importante limitare le perdite e quindi avere un elevato rendimento energetico. Un'altra considerazione importante è la riduzione dei costi del peso e delle relative dimensioni.

L'espansione della domanda riguardante l'elettronica di potenza è stata una conseguenza di diversi fattori:

- Alimentatori statici in corrente continua e gruppi di continuità: con lo sviluppo della microelettronica e computer che richiedono sempre di più alimentatori di potenza regolabili e possibilmente continui.
- Risparmio energetico: con l'aumento dei costi energetici e l'interesse verso la protezione all'ambiente si è cercato di dare priorità verso il risparmio energetico.
- Controllo di processi e automazione industriale
- Applicazioni elettriche: comprendono apparati per saldatura e riscaldamento ad induzione.

In generale la potenza in ingresso ad un sistema di potenza può essere: continua (DC) o alternata (AC). Le operazioni di conversione di un sistema di potenza possono essere quindi:

- DC-AC: conversione da corrente continua in alternata (inverter).
- AC-DC: conversione da corrente alternata in continua, ovvero raddrizzamento (p.e. a ponte di diodi).

- AC-AC: conversione da bassa ad alta tensione (e viceversa) a parità di potenza. Conversione della frequenza dei segnali.
- DC-DC: conversione da bassa ad alta tensione (e viceversa) a parità di potenza. In generale un convertitore può essere rappresentato mediante la **figura 2**.

Essi, inoltre, possono essere classificati nel seguente modo, ovvero secondo il modo di commutazione dei loro componenti:

- Convertitori a frequenza di rete.
- Convertitori switching, nei quali gli interruttori comandabili del convertitore vengono aperti e chiusi con frequenze che sono molto più alte della frequenza di rete.
- Convertitori risonanti e quasi risonanti, nei quali gli interruttori comandabili si aprono e si chiudono al passaggio per lo zero della tensione o della corrente.

## INTERRUTTORI DI POTENZA A SEMICONDUOTTORE

Le migliori prestazioni, la semplicità di controllo e la riduzione dei costi dei moderni dispositivi di potenza a semiconduttore rispetto a quelli di pochi anni fa, hanno permesso di introdurre i convertitori in un vasto numero di applicazioni e hanno favorito lo sviluppo di nuove configurazioni di convertitori per applicazioni di potenza. In generale abbiamo 3 gruppi di dispositivi di potenza:

- Diodi
- Tiristori: possono condurre una corrente molto elevata.
- Interruttori controllati: BJT, Mosfet.

I diodi (**figura 4**) possono essere polarizzati direttamente o inversamente a seconda della tensione applicata ai suoi capi.

Quando è polarizzato direttamente una piccola corrente lo attraversa, viceversa, quando è polarizzato inversamente viene attraversato da una corrente inversa trascurabile dell'ordine dei nA. A seconda delle applicazioni possono distinguere 3 tipi di Diodi:

- Diodo Schottky: usati quando si richiede una bassa caduta di tensione diretta in circuiti con tensione d'uscita molto bassa.
- Diodi a ripristino veloce: usati dove è previsto un breve tempo di ripristino dell'ordine dei microsecondi con potenze dell'ordine di 100 W.

• Diodi a frequenza di rete: progettati per avere in uno stato di conduzione la tensione più bassa possibile e di conseguenza un lungo tempo di ripristino.

Il Tiristore, invece, si comportano di fatto come un diodo normale ma soltanto se sul terminale di gate G viene inviato un impulso di corrente, altrimenti si comporta come un ramo aperto.

Se un impulso sul gate accende il tiristore e questo si trova in condizioni di polarizzazione diretta, il dispositivo si comporta come un corto circuito. Per riportare il dispositivo nello stato di OFF, basta invertire la tensione tra anodo e catodo (**figura 5**).

Esistono diversi tipi di Tiristori:

- Tiristori a controllo di fase: usati soprattutto per raddrizzare la corrente e tensione di linea in applicazioni come raddrizzatori controllati che azionano motori in corrente continua e alternata e, inoltre, per trasportare l'energia elettrica in linee di trasmissione in continua ad alta tensione.

- Tiristori per Inverter: progettati per avere un basso tempo di spegnimento in relazione ad una bassa caduta di tensione diretta. Disponibili per prestazioni fino a circa 2000 V.

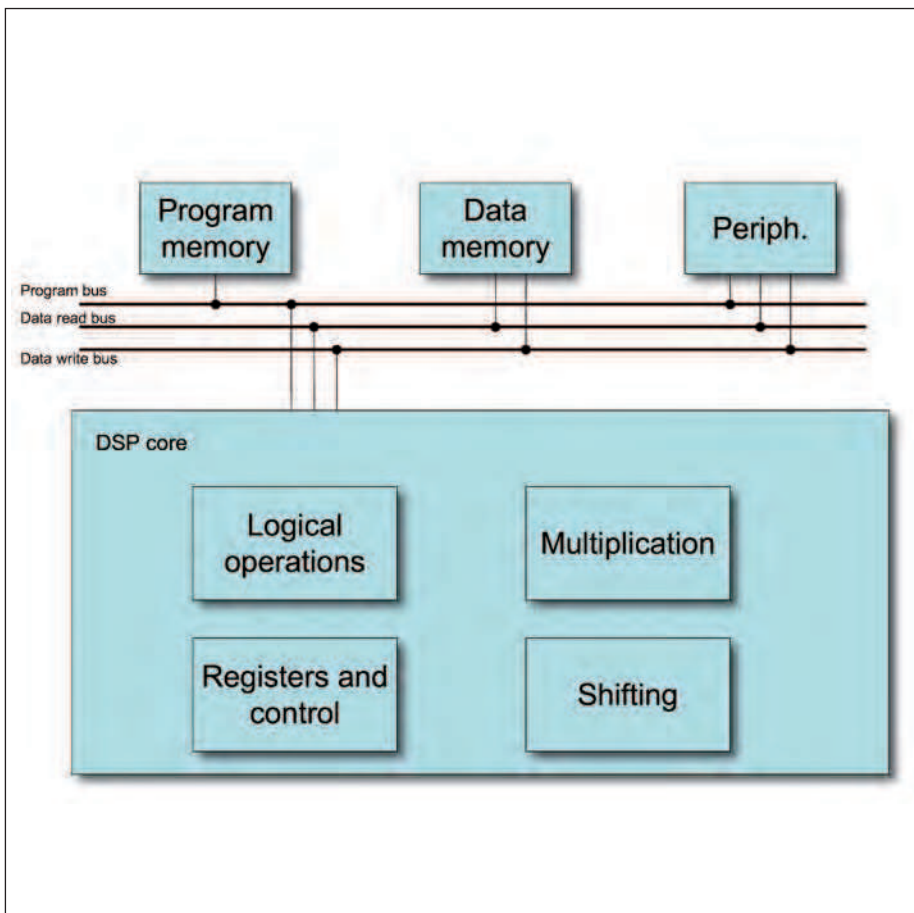


Figura 3: DSP.

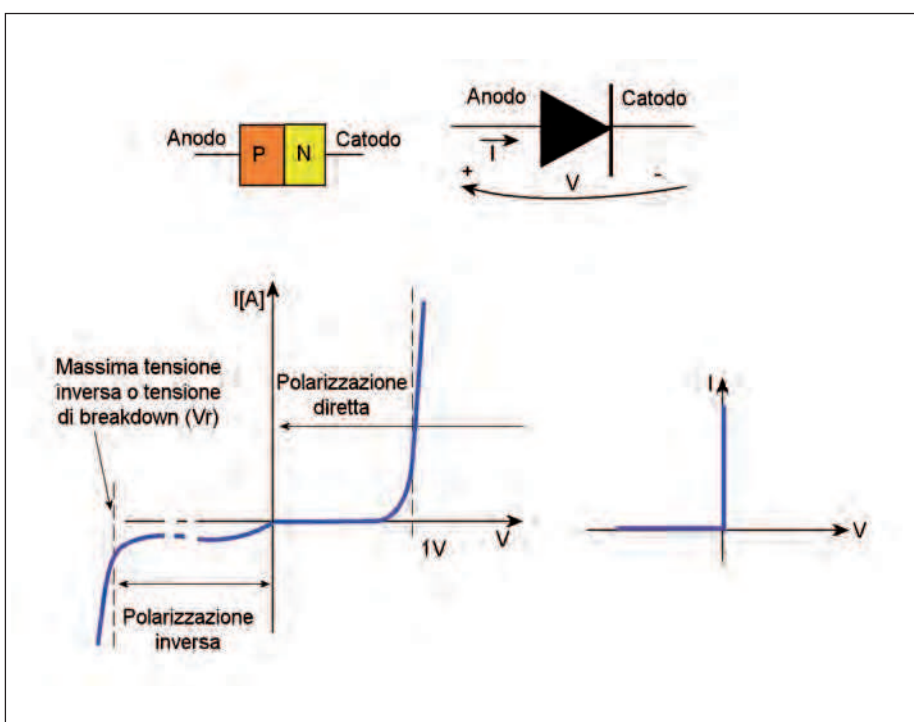


Figura 4: caratteristiche dei Diodi.

- Tiristori attivati dalla luce: sono progettati per essere innescati da un impulso di luce condotto in fibra ottica.

Altri dispositivi a semiconduttore sono per esempio: BJT, Mosfet e GTO (Gate Turn-Off); utilizzati in applicazioni di interruttori controllabili:

- BJT : Dispositivo che funziona soltanto in un quadrante. È bidirezionale: dal comando della base posso interdire il dispositivo (se non conduce corrente, è un ramo aperto) oppure attivarlo in conduzione.

- Mosfet: dal punto di vista delle applicazioni di potenza il MOSFET lo possiamo vedere come un Transistor normale più in parallelo tra source e drain un diodo (giunzione substrato- drain).

Quando il MOSFET è spento può essere usato come diodo semplice con l'anodo sul source ed il catodo sul drain. Quando aziono il transistor (mando sul GATE una tensione maggiore della tensione di soglia) creo un cortocircuito tra anodo e catodo. Questa proprietà risulta molto utile per aggiungere un controllo di regolazione nei raddrizzatori (convertitori AC/DC).

- GTO (**figura 8**): come il tiristore può essere chiuso con un impulso di corrente di breve durata, dato al gate; una volta che è in conduzione, il GTO può rimanervi senza ulteriore corrente di gate.

A differenza del tiristore, tuttavia il GTO può essere riportato in stato di apertura applicando tra gate e catodo una tensione negativa tale da sostenere una corrente negativa sufficientemente grande. I tempi di commutazione sono tali da consentire il raggiungimento di frequenze di commutazione dell'ordine di grandezza del kHz. La transizione ON-OFF, specialmente quando le correnti sono elevate, necessita di accorgimenti circuitali per ridurre la tensione di autoinduzione che si manifesta ai capi del componente.

- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor): dispositivo che è di fatto formato da un transistor bipolare di potenza la cui corrente di base è erogata da un mosfet di potenza a sua volta controllato da un gate.

Può essere attivato o disattivato per mezzo del gate del mosfet. Viene utilizzato al posto del GTO per applicazioni di elevata potenza.

CATEGORIE PRODOTTI

- Convertitori Serial-Ethernet
- Convertitori di protocollo
- Bluetooth
- Moduli radio e ZigBee
- Visualizzazione
- Modem GSM/GPRS/GPS
- Interfacce USB e PCI
- CPU e moduli
- Componentistica varia
- Sistemi di sviluppo HW/SW
- Programmatori
- CAE - CAD
- Strumentazione
- CD-ROM e pubblicazioni

NEWSLETTER

Iscriviti alla nostra Newsletter (potrai sempre cancellarti in seguito)

Nome

Email

Conferma

**LS100**

Convertitore da seriale RS232 a Ethernet 10Base-T. Serial data transfer fino a 115Kbps. Configurazione mediante Telnet o porta seriale. Software di gestione e amministrazione.  
**Versione con case metallico.**



€ 95,00

Info

**LS100B**

Convertitore da seriale RS232 a Ethernet 10Base-T. Serial data transfer fino a 115Kbps. Configurazione mediante Telnet o porta seriale. Software di gestione e amministrazione.  
**Versione open frame.**



€ 66,00

Info

**PS110W**

Wireless device server per collegare dispositivi seriali RS-232 a reti wireless con standard 802.11b/g. Incorpora funzionalità avanzate come il WPA2 per la sicurezza wireless, crittografia SSL. Ideale per remotizzare in modo sicuro le porte seriali su reti wireless-LAN.



€ 245,00

Info

**PS110**

Convertitore da RS232/422/485 a TCP/IP adatti ad applicazioni avanzate, con elevata gestione della sicurezza e di logging degli errori.  
**Versione a una porta configurabile.**



€ 139,00

Info

**PS410**

Convertitore da RS232/422/485 a TCP/IP adatto ad applicazioni avanzate, con elevata gestione della sicurezza e di logging degli errori.  
**Versione a quattro porte configurabili.**



€ 379,00

Info

**PS810**

Convertitore da RS232/422/485 a TCP/IP adatti ad applicazioni avanzate, con elevata gestione della sicurezza e di logging degli errori.  
**Versione a otto porte configurabili.**



€ 549,00

Info

I prezzi si intendono IVA esclusa

**convertitori  
seriale/ethernet SENA**  
**www.elettroshop.com**

**BUONO SCONTO  
DEL 10%!**



Scarica l'applicazione per il tuo cellulare su <http://gettag.mobi>

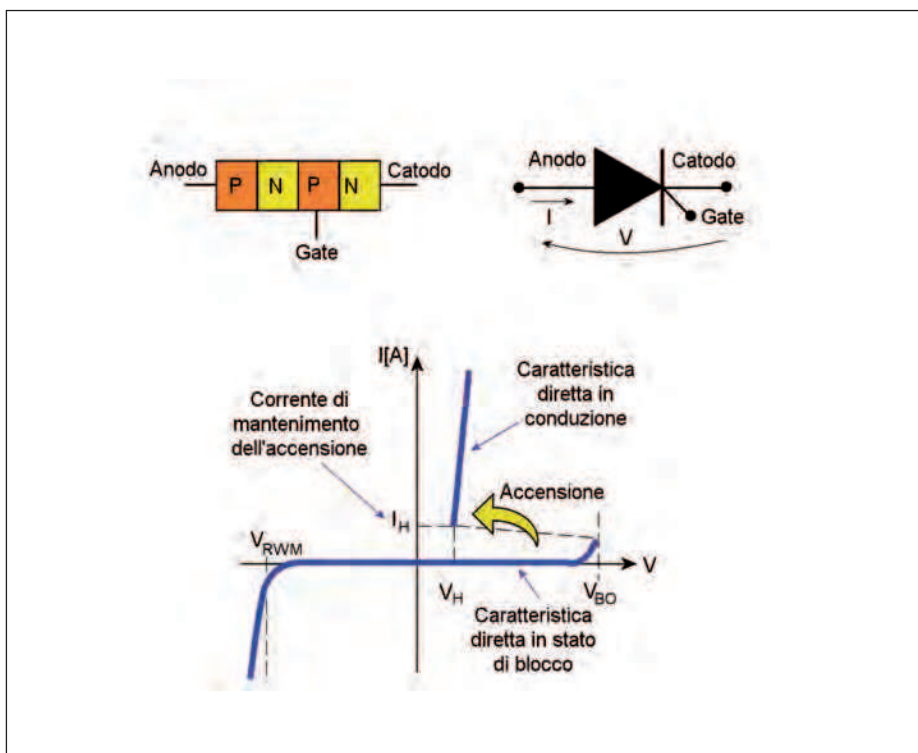


Figura 5: caratteristiche dei Tiristori.

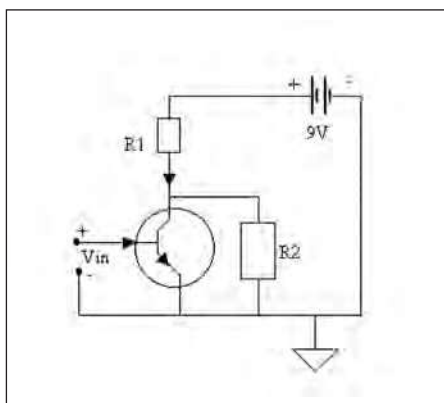


Figura 6: transistor BJT in potenza e classi di potenza.

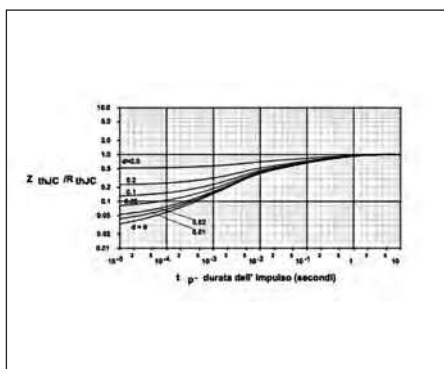


Figura 7: esempio di  $r(t)$ .

corrente di base e la corrente di collettore scorrono solo per mezzo periodo.

- Classe AB: situazione intermedia tra classe A e B.

- Classe C: la tensione  $V_{be}$  è inferiore alla tensione di soglia.

Gli amplificatori per piccoli segnali lavorano in classe A. Nella classe B il segnale subisce il taglio della semionda negativa, per cui la distorsione diventa intollerabile. Nella classe C il segnale di ingresso produce un impulso di corrente più o meno ampio e breve. Per ricostruire l'onda sinusoidale viene normalmente utilizzato un circuito risonante, tipico dei amplificatori a radiofrequenza.

### Alcuni parametri di progetto

Per poter progettare un amplificatore di potenza è necessario in molti casi conoscere alcuni parametri utili per il dimensionamento:

**Rendimento di conversione:** rapporto tra la potenza utile fornita al carico e la potenza dell'alimentazione.

**Figura di merito:** rapporto tra la potenza massima dissipata dall'elemento attivo e la massima potenza utile.

**Distorsione:** la relazione tra ingresso e uscita non è lineare e può essere espressa mediante una serie di potenze. La distorsione si definisce come il rapporto tra l'ampiezza dell'armonica e quello della fondamentale.

### FATTORE TERMICO

Nell'ambito dell'elettronica di potenza i fattori termici assumono un ruolo fondamentale. Visto che la dissipazione di potenza sui dispositivi è per certi versi ineliminabile, è necessario che comunque la temperatura di esercizio del dispositivo non aumenti più di tanto. In questa esigenza è coinvolto il progetto del package del dispositivo stesso. Per package si intende l'insieme della struttura meccanica che serve a rendere compatto il dispositivo, a proteggerlo dall'ambiente esterno e soprattutto a consentire lo smaltimento del calore in eccesso utilizzando i meccanismi di scambio termico di conduzione del calore ed eventualmente di convezione. Un parametro fondamentale nello studio della qualità di dissipazione del calore nei dispositivi è la resistenza termica che rappresenta la tem-

### AMPLIFICATORI DI POTENZA

Oltre ad applicazioni industriali è utile ricordare, nel campo dell'elettronica di potenza, applicazioni audio; ovvero amplificatori di potenza con il compito di amplificare segnali di modesta ampiezza. Accanto ai tradizionali transistori bipolari (BJT) si stanno sempre diffondendo i MOS di potenza ed i circuiti integrati, monolitici ed ibridi.

Riguardo i circuiti integrati per applicazioni industriali, la tendenza è realizzare in un unico chip le funzioni di controllo, amplificazione e gestione del segnale. In genere gli amplificatori di potenza presentano alcune classi di lavoro: A, AB, B e C. Consideriamo per comodità il circuito di esempio in figura 6 e vediamo la differenza tra le classi enunciate sopra. Le classi possono distinguersi nel seguente modo:

- Classe A: la tensione di riposo  $V_{be}$  (base-emettitore) e il segnale in ingresso sono tali che la corrente di collettore (corrente di uscita) scorre per tutto il periodo. Il componente lavora nella zona attiva.

- Classe B: la  $V_{be}$  coincide con la tensione di soglia del componente, sicchè la

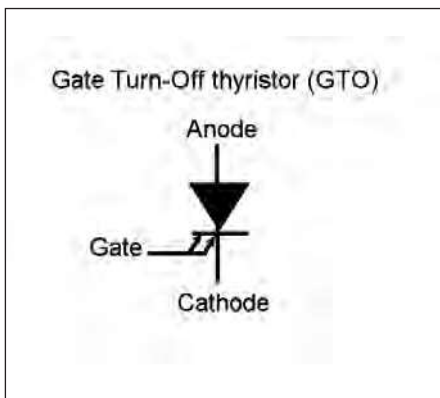


Figura 8: transistor GTO.

peratura raggiunta dal dispositivo quando dissipa potenza, dipende ovviamente da fattori geometrici ed elettrici. Il progetto meccanico del sistema di assemblaggio del dispositivo di potenza deve tendere ad utilizzare materiali e geometrie tali da minimizzare la resistenza termica. Per poter proteggere un dispositivo dal calore, talvolta è necessario l'utilizzo di un dissipatore. La scelta del dissipatore avviene nelle seguenti fasi:

- Nota la potenza dissipata  $P_d$  dal dispositivo, la temperatura massima  $T_{ij}$  sopportabile dalla giunzione e la temperatura ambiente massima  $T_a$ , si calcola il valore che può assumere la resistenza termica giunzione-ambiente (massima):  $R_{ja} = (T_{ij} - T_a) / P_d$ .

- Successivamente si confronta il valore della resistenza termica calcolata sopra con i valori tecnici, contenuti nei data sheet di:  $\theta_{jc}$  (temperatura contenitore-giunzione) e  $\theta_{ja}$  (temperatura giunzione-ambiente). Se  $\theta_{jc}$  è minore della resistenza termica allora il dispositivo necessita di un dissipatore.

Per il progetto del dissipatore si calcola la sua resistenza termica:  $\theta_{sa} < R_{ja} - \theta_{jc} - \theta_{cs}$ , dove  $\theta_{cs}$  è la resistenza termica fra contenitore e dissipatore (data sheet).

Normalmente nei fogli tecnici viene fornito il diagramma relativo alla curva di riduzione: ovvero l'andamento della potenza massima dissipabile nel dispositivo in funzione della temperatura del contenitore o ambiente. La pendenza della curva è proporzionale all'inverso della resistenza termica di giunzione.

Nel caso di regime impulsivo si considera come variabile termica il valore  $r(t)$ : re-

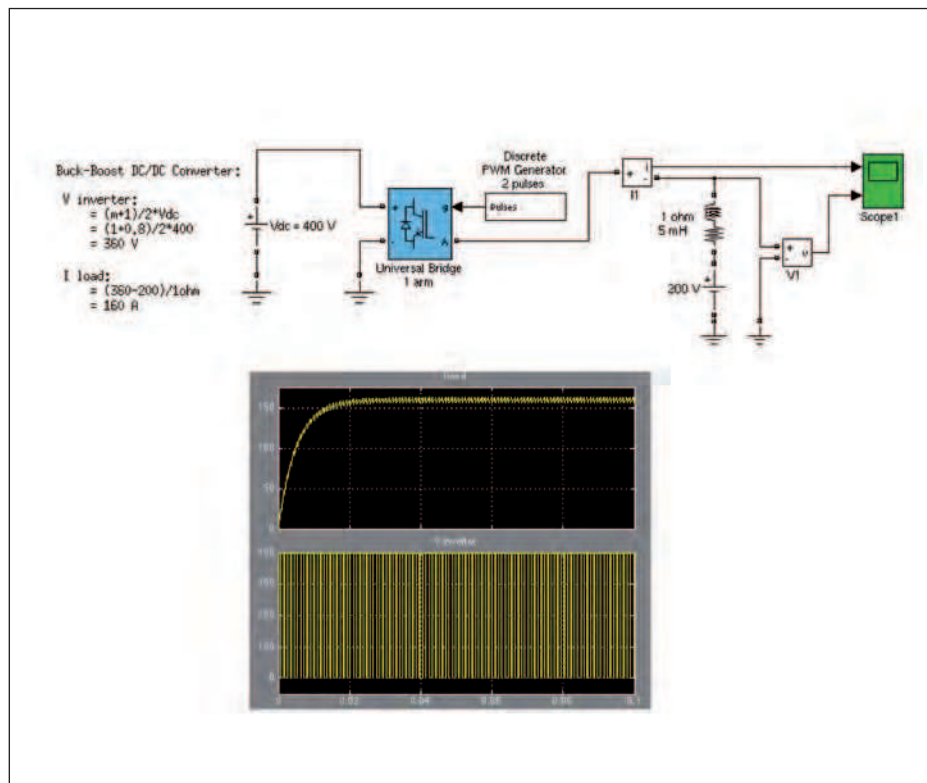


Figura 9: convertitore dc-dc buck-boost.

sistenza o impedenza termica di transistoro (figura 7). In figura 7 esempi di curve che rappresentano l'andamento della  $r(t)$  fra giunzione e contenitore al variare della larghezza dell'impulso per diversi valori di duty cycle. In genere il valore di  $r(t)$  è normalizzato rispetto alla resistenza termica.

## UN PO' DI APPLICAZIONI DELL'ELETTRONICA IN POTENZA

Nell'elettronica di potenza esistono diverse applicazioni che abbiamo enunciato in precedenza. Ovviamente non possiamo descriverne tutti, ci limiteremo ad analizzarne alcuni. Descriveremo, inoltre, alcune simulazioni fatte con Simulink, un software di MatLab in alcuni casi simile a P-Spice per lo studio e la simulazione di sistemi.

### Convertitori AC-DC

I convertitori AC-DC sono alla base di numerosi circuiti elettronici come ad esempio gli alimentatori stabilizzati e i dispositivi per la demodulazione dei segnali AM (Amplitude Modulation) ed FM. I convertitori AC-DC sono costituiti es-

senzialmente da un raddrizzatore di precisione a doppia semionda, che fornisce il valore assoluto della tensione di entrata e da un filtro passa-basso che ha il compito di estrarre il valore medio. Un esempio di schema elettrico può essere quello in figura 13 con la relativa simulazione. Si è scelto come segnale di entrata la somma di due segnali sinusoidali di ampiezza 5 V e frequenza 1 KHz e 1.1 KHz in modo da ottenere un segnale complessivo  $v_i(t)$  di ampiezza variabile (fenomeno dei battimenti). Il condensatore realizza un filtro passa basso.

### Convertitori DC-DC

I convertitori DC-DC sono molto usati negli alimentatori a corrente continua e per azionare motori in corrente continua. Un generico convertitore DC-DC può essere rappresentato dalla figura 9 opportunamente studiato e simulato con Simulink.

Lo scopo principale è quello di regolare la tensione "continua" ottenuta da un circuito raddrizzatore (diodo - RC), ovvero limitare il più possibile il ripple. Nello specifico convertitori di questo tipo ven-

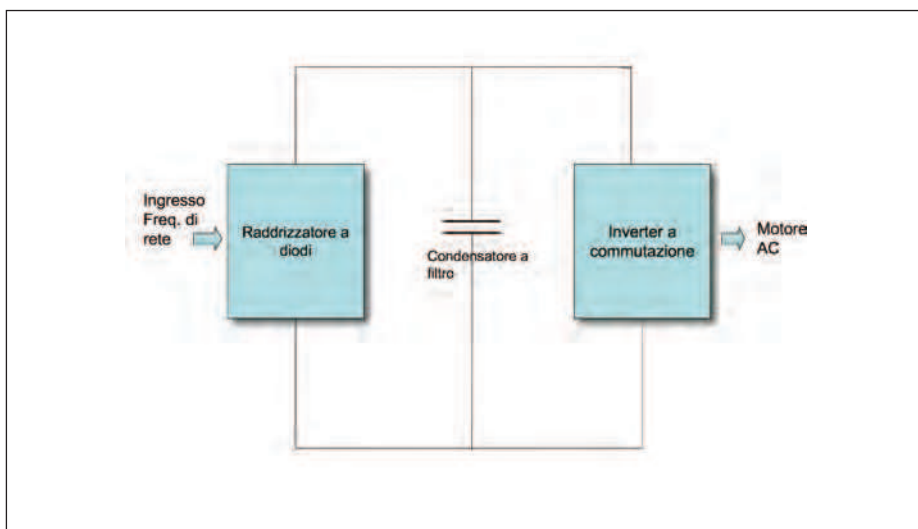


Figura 10: convertitore dc-ac.

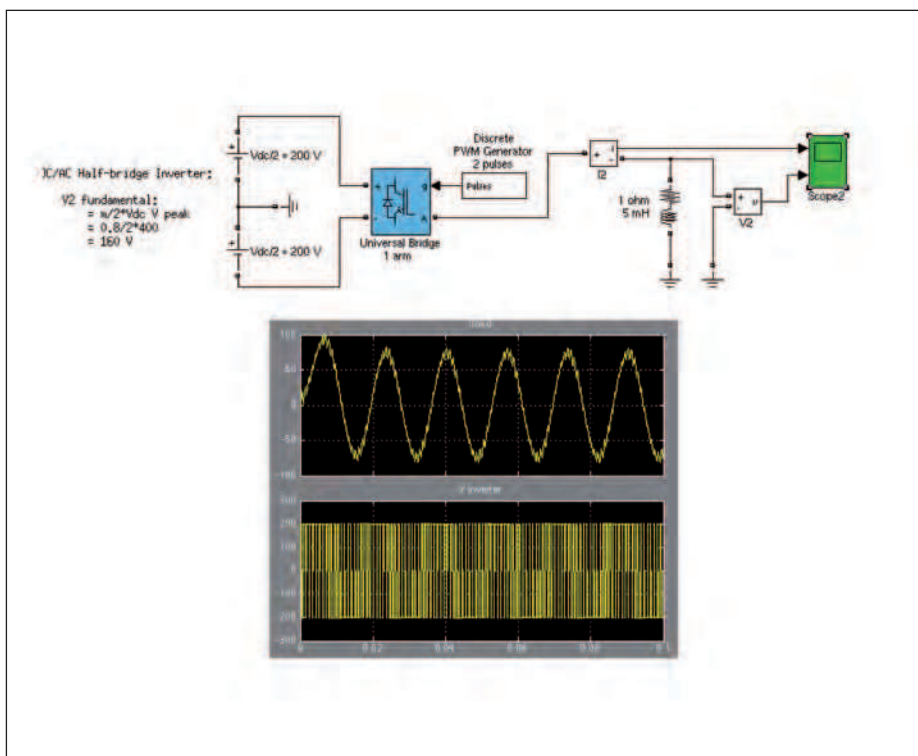


Figura 11: inverter Half-bridge.

gono chiamati convertitori a commutazione. Ci sono diversi tipi di convertitori di questo tipo:

- Convertitore Buck (abbassatore)
- Convertitore Boost (elevatore)
- Convertitore busk-Boost
- Convertitore a ponte

Nei convertitori dc-dc, la tensione media di uscita viene controllata in modo da

uguagliare il livello desiderato, anche se la tensione in ingresso oscilla. Essi utilizzano interruttori per trasformare la tensione continua da un livello ad un altro; la tensione media di uscita è controllata regolando i tempi di chiusura e apertura dell'interruttore (o interruttori). Analizziamo il convertitore Buck-Boost. Le principali applicazioni di un converti-

tore dc-dc buck boost riguardano gli alimentatori stabilizzati in corrente continua, nei quali può essere richiesta una tensione di uscita negativa rispetto al morsetto comune della tensione di alimentazione; la tensione di uscita può essere più bassa o più alta di quella di ingresso. Un esempio di questo convertitore può essere rappresentato in **figura 9**, una serie tra convertitore buck e boost. In regime permanente, il rapporto di conversione, ovvero il rapporto tra la tensione di uscita e quello di ingresso è il prodotto dei rapporti di conversione dei due convertitori in cascata.

Come in tutte le applicazioni elettroniche gli elementi parassiti hanno una importanza significativa sul rapporto di conversione. Per considerare questo elemento bisogna simulare il circuito in questione tenendo conto di questa caratteristica ed inserirlo nel programma di simulazione.

## Convertitori DC-AC

I convertitori dc-ac o inverter sono soprattutto usati negli azionamenti per motori in corrente alternata e nei gruppi di continuità, dove l'obiettivo è di produrre una tensione alternata. Lo schema a blocchi di un inverter può essere rappresentato dalla **figura 10**, dove la tensione dc è ottenuta da un semplice raddrizzatore. Possiamo distinguere vari inverter a seconda della tensione dc utilizzata:

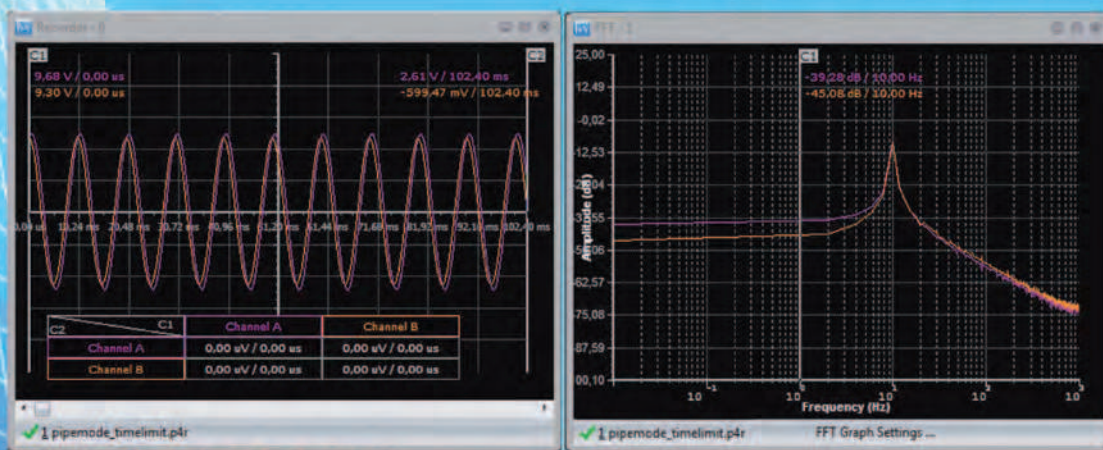
- Inverter con modulazione di impulso: l'ampiezza della tensione dc è costante e la tensione di uscita è ottenuta mediante una modulazione PWM degli interruttori dell'inverter
- Inverter a onda quadra: la tensione di uscita ha un andamento simile a quella dell'onda quadra.
- Inverter monofase: gli interruttori dell'inverter sono comandati con impulsi modulati.

In **figura 11** un esempio di inverter, half-bridge, opportunamente studiato e simulato con SimuLink; lo schema elettrico rappresentativo è visualizzato in **figura 12**. In questo caso i due condensatori collegati in serie sull'ingresso e il loro punto ("O") di collegamento presenta un potenziale pari alla metà della tensione in ingresso. Le capacità sono abbastanza

# Il primo oscilloscopio mixed-signal low-cost!



Oscilloscopio, Analizzatore di spettro  
 Analizzatore Logico, Generatore Logico  
 2+5 Canali analogici (12bit, 1MS/s)  
 Generatore di onde quadre e PWM  
 Registratore Digitale  
 16 Canali Digitali  
 Aggiornamenti software gratuiti



## OSCILLOSCOPIO ED ANALIZZATORE DI SPETTRO

Numero canali: 2+5  
 Frequenza di campionamento: fino a 1MHz  
 Memoria:  
 • Buffer di lettura: 1126 campioni/canale (1 canale), 563 campioni/canale (2 canali).  
 • Pipe di lettura: 64K campioni/canale (1 o 2 canali).  
 Massima tensione di ingresso: -20 ÷ +20 V  
 Risoluzione ADC: 12bits  
 Triggering:  
 • Assoluto (per fronti di salita/discesa)  
 • Differenziale (per differenza tra campioni consecutivi)  
 • Esterno (per fronti di salita/discesa di segnali TTL)  
 Funzionalità disponibili: Hamming, Hanning, Blackman, Blackman-Harris.

## ANALIZZATORE LOGICO

Numero canali: 16 (8 se utilizzato il generatore logico)  
 Frequenza di campionamento: fino a 10MHz  
 Memoria:  
 • Buffer in lettura (Fs=4-8 MHz) 128 bit/canale.  
 • Buffer in lettura (Fs=2-2.66 MHz) 1160 bit/canale.  
 • Buffer in lettura (Fs<=1 MHz) 1544 bit/canale  
 • Buffer in lettura (in mod. concatenamento) 1 Mbit/canale.  
 • Pipe di lettura (Fs < 500KHz) 4K a 256 Mbit/canale.  
 Massima tensione di ingresso: 0 ÷ +5 V  
 Triggering: per fronti del segnale, maschere, impulsi persi, clock esterno.  
 Clock: interno/esterno

## REGISTRATORE

Frequenza di campionamento: fino a 1MHz  
 Capacità massima di registrazione: 24 ore (Fs < 100 Hz)  
 Tensione d'ingresso: -20 ÷ +20 V (hardware 2 sub-band)  
 Risoluzione ADC: 12bits

## GENERATORE LOGICO

Numero canali: 8  
 Frequenza di campionamento: fino a 1MHz  
 Memoria: 4000 bit/canale  
 Tensione di uscita: "0" - 0 V, "1" - 3.3 V  
 Massima corrente in ingresso/uscita: 10 mA



Novità! Il più economico isolatore USB!

**PoScope**  
 mega1

Ordinali subito su [www.ishop.it/poscope](http://www.ishop.it/poscope)



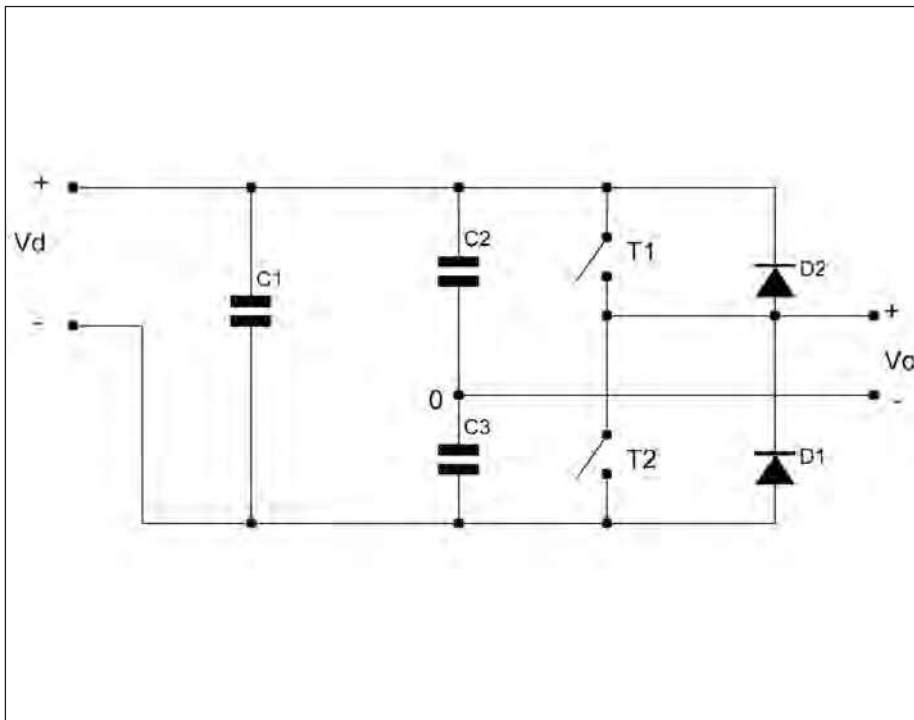


Figura 12: esempio di inverter half-bridge.

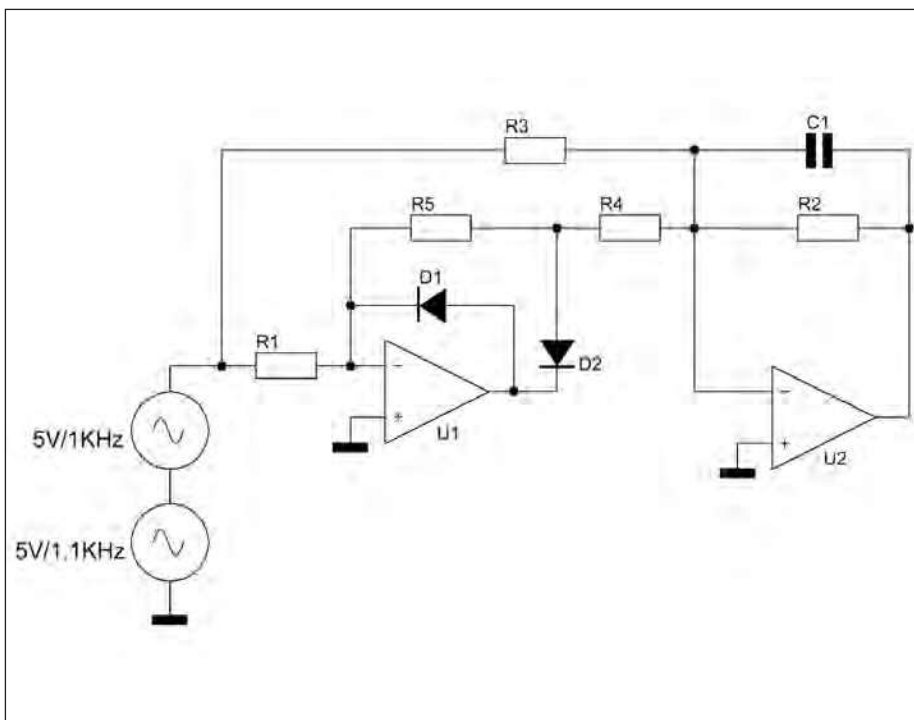


Figura 13: convertitore AC-DC.

elevate in modo da ritenere che la tensione in "O" rimanga costante. La commutazione scelta è PWM. La scelta del collegamento dei condensatori e la presenza di un potenziale

intermedio in "O" implica che i due condensatori rispetto alla corrente sono in parallelo; la corrente quindi non può avere

una componente continua perché deve circolare nei due condensatori.

## Alimentatori Switching

In molti sistemi analogici e digitali è richiesto l'utilizzo di alimentatori stabilizzati in continua. Alcune caratteristiche sono:

- Uscita controllata: la tensione di uscita deve mantenersi costante rispetto ad una variazione della tensione di ingresso e del carico di uscita
- Isolamento
- Uscite multiple

Gli alimentatori lineari, a differenza di quelli switching, presentano soluzioni circuitali semplici (raddrizzatore, controllo e amplificazione) e sono per lo più utilizzati per potenze nominali basse e costi molto ridotti. Inoltre, non producono interferenze elettromagnetiche negli altri apparati. Negli alimentatori switching la conversione viene realizzata utilizzando un convertitore dc-dc impiegando mosfet, transistor ecc...

Un esempio può essere rappresentato dal convertitore Fly-Back. Essi sono derivanti dai convertitori buck-boost.

## Applicazioni in ambito domestico/industriale

La funzione dell'elettronica di potenza nelle abitazioni residenziali è quella di consentire un risparmio di energia, ridurre i costi e aumentare la sicurezza.

Le applicazioni residenziali comprendono il riscaldamento e il condizionamento dell'aria, riscaldamento dell'acqua, televisione e altro.

Nell'ambito industriale, invece, riscaldamento ad induzione e la saldatura elettrica sono parte dell'elettronica di potenza. Il riscaldamento per induzione viene prodotto calore in un pezzo in lavorazione che conduce elettricità in conseguenza alla circolazione di corrente generata per induzione elettromagnetica.

Questo processo è pulito, rapido ed efficiente. Nella saldatura elettrica, invece, l'energia per la fusione è fornita da un arco tra due elettrodi, uno dei quali è il pezzo metallico. □