

### 3 COMPONENTI DI UNA SALDATRICE A RESISTENZA

**Ottimizzati per l'impiego specifico** - Le saldatrici a resistenza possono essere configurate con le più diverse teste di saldatura e sorgenti dell'impulso di corrente. La potenza elettrica e le caratteristiche meccaniche dipendono dal tipo giunzione che deve essere realizzata. La scelta e la configurazione della macchina più adatta viene fatta il più delle volte dal fornitore sulla base di prove di laboratorio sui particolari definitivi. Perciò ne deriva che difficilmente una saldatrice è uguale ad un'altra. Grazie a un sistema razionalizzato di moduli, con innumerevoli varianti dei componenti base, i produttori di saldatrici sono però in grado di produrre secondo le specifiche esigenze del cliente.

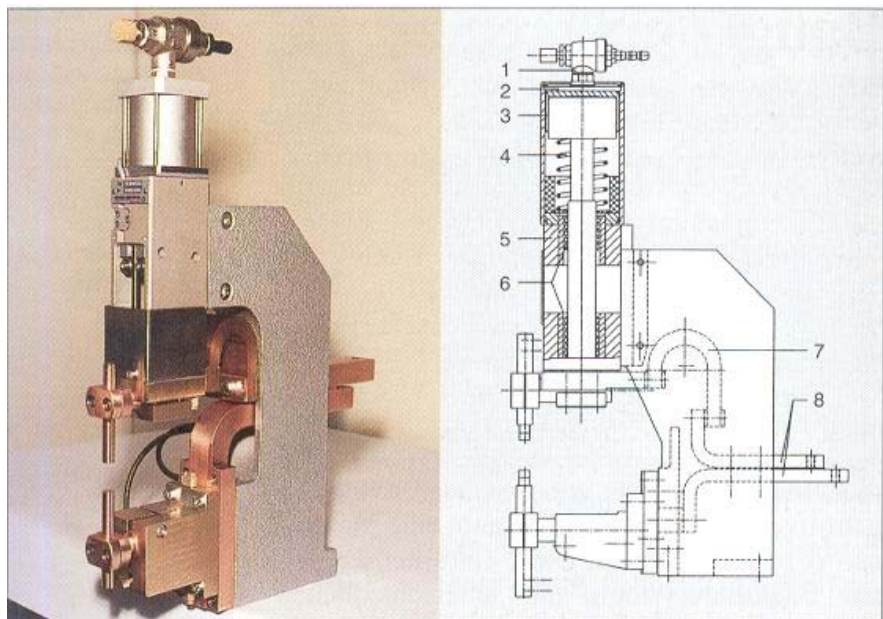
#### 3.1 Teste di saldatura

La testa di saldatura (vedi fig. 15) è il componente fondamentale di un impianto di saldatura a resistenza poiché quivi ha luogo il processo di giunzione. Tramite essa i particolari vengono pressati uno contro l'altro.

*Fig. 15*

*Testa per la saldatura di piccoli pezzi*

1. Pressione fino a 6 bar
2. Cilindro di saldatura
3. Membrana
4. Molla di richiamo
5. Testa di guida
6. Guida a sfere
7. Pacco lamellare
8. Allacciamento secondario



Una testa di saldatura consiste essenzialmente di un solido corpo macchina e del sistema degli elettrodi. L'elevata rigidità del corpo macchina impedisce slittamenti laterali degli elettrodi ed è perciò rilevante per la qualità del giunto saldato. Sia l'elettrodo fisso, sia il sistema dell'elettrodo mobile sono collocati su questo corpo macchina.

**Guida dell'elettrodo** - La guida del sistema dell'elettrodo mobile può essere realizzata in diversi modi, ma ultimamente le guide a bussole a sfere sono quelle che si sono maggiormente affermate. E' infatti molto importante una guida lineare di estrema precisione. Una costruzione leggera, magari in alluminio pressofuso è

altrettanto indispensabile, in modo da avere masse in movimento il più ridotte possibile.

Il movimento degli elettrodi viene attuato meccanicamente, tramite molle, o pneumaticamente grazie a un cilindro. In alcuni casi particolari forza di saldatura può essere prodotta anche idraulicamente. Nelle saldatrici di piccole dimensioni il movimento di chiusura dell'elettrodo e la forza di chiusura si ottengono ancora spesso con l'azionamento di una leva a pedale. Ciò semplifica l'esatto posizionamento dei pezzi in caso di saldature particolarmente critiche. Tramite una molla di pressione intermedia è possibile regolare con continuità la forza di saldatura, assicurando che la corrente fluisca solamente al raggiungimento di un suo valore predeterminato.

In caso di macchine di grandi dimensioni la forza di saldatura viene ottenuta quasi sempre tramite pressione pneumatica. Per ridurre l'effetto negativo sul movimento del pistone causato dall'attrito tra la sua guarnizione e la camicia del cilindro la funzione di guarnizione viene frequentemente affidata a una membrana altamente flessibile in gomma (vedi *Cilindro a membrana*, capitolo "Assestamento dell'elettrodo").

Nella saldatura a resistenza le teste di saldatura possono essere disposte a piacere, per esempio anche orizzontalmente. Inoltre non è sempre e solo l'elettrodo superiore quello che si muove.

**Teste motorizzate** – Un posto di assoluto rilievo tra le diverse teste di saldatura occupano quelle teste in cui il movimento dell'elettrodo e l'applicazione della forza si realizzano tramite servomotore. La recente introduzione di questa tecnologia segna un passo fondamentale nella gestione del processo di saldatura. Infatti il servomotore permette di avere un controllo totale del movimento e della forza applicata, dallo start al ritorno in posizione di riposo. (Per questa particolare applicazione vedi l'articolo "Teste motorizzate per microsaldatura a resistenza") I principali riflessi positivi sulla produzione sono la maggiore velocità di esecuzione (l'avvicinamento ed il ritorno avvengono ad elevatissima velocità), la durata maggiore degli elettrodi, la qualità più costante del giunto, il controllo della quota di schiacciatura e il rilevamento della presenza pezzo integrati.

Il ciclo avviene nel modo seguente: dopo lo start (nell'ambito della corsa totale la posizione di partenza viene fissata a piacere) l'elettrodo si muove a gran velocità verso il pezzo, rallenta ed inizia la fase di ricerca a bassa velocità; appena entrato in contatto con il pezzo applica la forza di saldatura. Viene poi dato l'avvio al comando per l'erogazione dell'impulso di saldatura.. L'elettrodo segue il cedimento dei pezzi, dovuto al calore generato dal passaggio della corrente, a forza costante (ciò viene garantito da un sistema di regolazione a loop chiuso). Alla fine del tempo di saldatura e di quello di mantenimento l'elettrodo torna alla massima velocità in posizione di riposo. In fase di ricerca pezzo se questo non fosse presente l'elettrodo tornerebbe in posizione di riposo senza saldare e verrebbe dato un opportuno messaggio di errore.



*Fig. 15 bis:  
Testa a servomotore.  
L'introduzione di questa testa  
sul mercato costituisce un  
passo fondamentale verso il  
controllo totale del processo  
di saldatura a resistenza e va  
nella direzione di un ulteriore  
aumento della qualità media  
dei giunti prodotti.*

**Forme speciali** - Vanno citate a questo punto due particolari esecuzioni di teste di saldatura che si sono sempre più affermate negli ultimi anni: le cosiddette *pinze flottanti* e le *teste con cilindro supplementare inferiore* (vedi figura 16).

Nel primo caso si tratta di pinze di saldatura a punto autocentranti. Esse trovano perlopiù impiego su linee automatiche in cui il pezzo in lavorazione, ben fissato su un portapezzo mobile, viene condotto automaticamente in posizione di saldatura. Nelle descritte condizioni, cioè con pezzi fissati rigidamente, impiegando una normale testa di saldatura non autocentrante, non sono rari danni meccanici al pezzo (p. e. una piegatura), anche prescindendo dalla qualità insoddisfacente dei giunti così ottenuti. Per evitare questo sono state concepite da già diversi anni queste teste flottanti. Entrambi gli elettrodi vengono mantenuti aperti, in posizione fissa, per mezzo di un cilindro pneumatico e traslati in posizione di saldatura. Raggiunta questa, la testa viene sbloccata e resa libera di fluttare fino a centrarsi sul pezzo fissato sul portapezzo. I movimenti di apertura e chiusura sono lineari e quindi la forza di saldatura è applicata direttamente, senza componenti in altre direzioni— da qui l'altro nome con cui sono note di *pinze parallele autocentranti*. Dal punto di vista progettuale questo principio di funzionamento, che si ripete sempre per questo tipo di teste, si realizza tramite l'integrazione di un asse aggiuntivo: la testa di saldatura vera e propria è montata su una slitta e può muoversi con i suoi elettrodi superiore ed inferiore lungo l'asse della slitta stessa. Un cilindretto pneumatico blocca e libera di volta in volta la pinza.

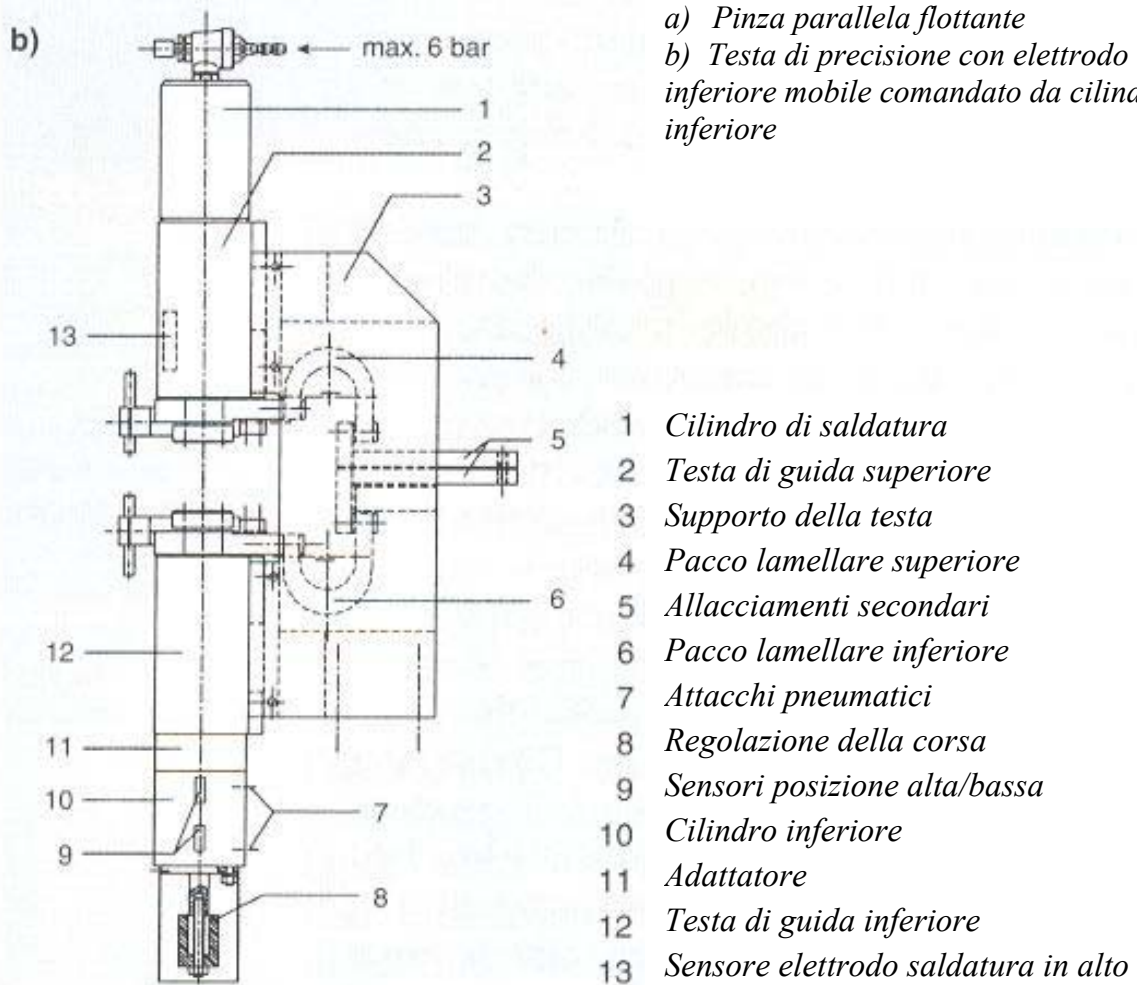


Fig. 16

Teste di saldatura

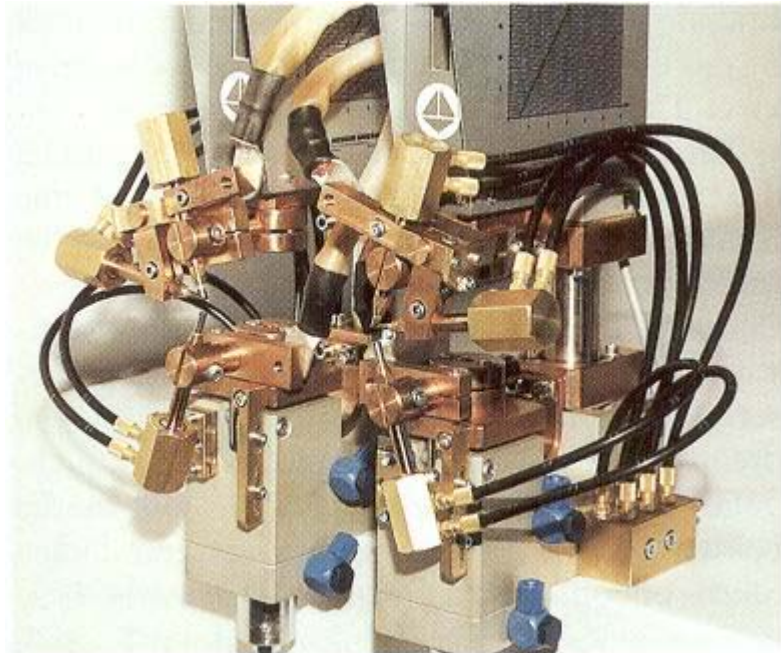
a) Pinza parallela flottante

b) Testa di precisione con elettrodo inferiore mobile comandato da cilindro inferiore



Un'alternativa alle pinze flottanti può essere costituita dalle teste con elettrodo inferiore mosso da un cilindro pneumatico supplementare inferiore (vedi fig. 17). Dopo la traslazione della testa nella posizione di saldatura (o del pezzo tra gli elettrodi) l'elettrodo inferiore viene portato da un apposito cilindro pneumatico in contatto con il pezzo. In questo caso il riferimento che guida il processo di saldatura non è il centro della posizione di saldatura, bensì la superficie del pezzo

*Fig. 17  
Doppia testa di saldatura con cilindri inferiori per il movimento anche degli elettrodi inferiori. Versione speciale a 3 elettrodi per la saldatura di fili isolati a terminali di bobina*



### **3.2 Trasformatori e stadi di potenza**

**Picchi anziché potenza continua** - Un trasformatore di saldatura deve ridurre la tensione di rete ad una tensione secondaria di valore basso, secondo le caratteristiche del processo, ed innalzare invece l'intensità della corrente a diverse migliaia di Ampere. In questo caso una potenza continua ha un'importanza relativa: infatti nella produzione di minuteria sono necessari elevati picchi di potenza a fronte di brevissimi inserimenti. Al lato primario del trasformatore può essere allacciato un trasformatore multistadio per permettere una più fine regolazione della tensione di saldatura.

Lo stadio di potenza o stadio principale, cioè la parte di potenza di un comando, deve regolare in tempo e potenza l'energia elettrica e quindi l'energia di saldatura. Perciò vengono inseriti due tiristori in antiparallelo. In molti casi lo stadio di potenza e il trasformatore costituiscono un'unica unità in modo tale che i collegamenti di corrente secondaria possano essere portati direttamente alla testa di saldatura.

Con corrente alternata monofase viene inserito un solo stadio di potenza a due tiristori in antiparallelo, mentre in caso di corrente continua trifase sono necessari tre di questi stadi di potenza riuniti in un'unica unità. In quest'ultimo caso è possibile sia il collegamento a stella, sia il collegamento a triangolo.

### 3.3 Stadi di comando

#### Corrente alternata

I comandi a corrente alternata monofasi a 50 o 60 Hz costituiscono gli inizi in senso storico della tecnologia di saldatura a resistenza. Ancora oggi però è elevata la richiesta di saldatrici a corrente alternata, talvolta anche nel settore della microsaldatura. I continui sviluppi portati hanno portato anche questa tecnica ad un livello avanzato.

**Lunga durata, efficienza e robustezza** - I comandi a c. a. lavorano in modo sincrono alla frequenza di rete, cioè il tempo di corrente prelezionato decorre esattamente in periodi. Questi comandi di saldatura a tiristori hanno una durata praticamente illimitata ed un elevato grado di efficienza. Sono inoltre molto robusti. La regolazione della potenza avviene da un lato attraverso una fine graduazione della tensione secondaria, dall'altro lato con continuità tramite parzializzazione della fase (vedi fig. 18).

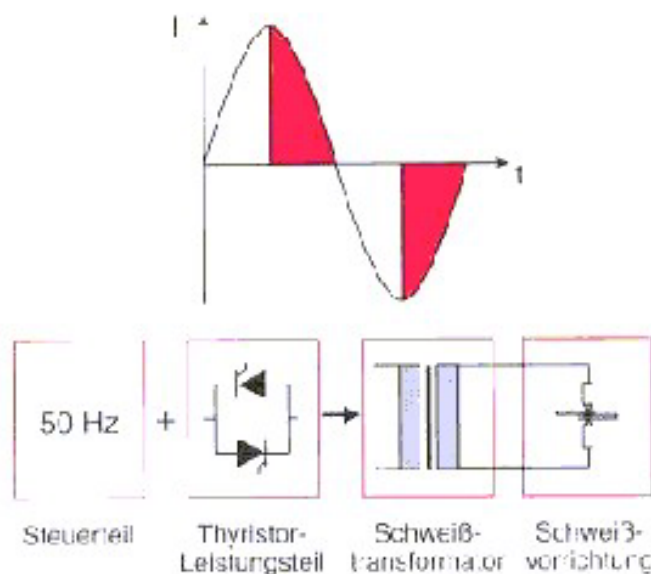
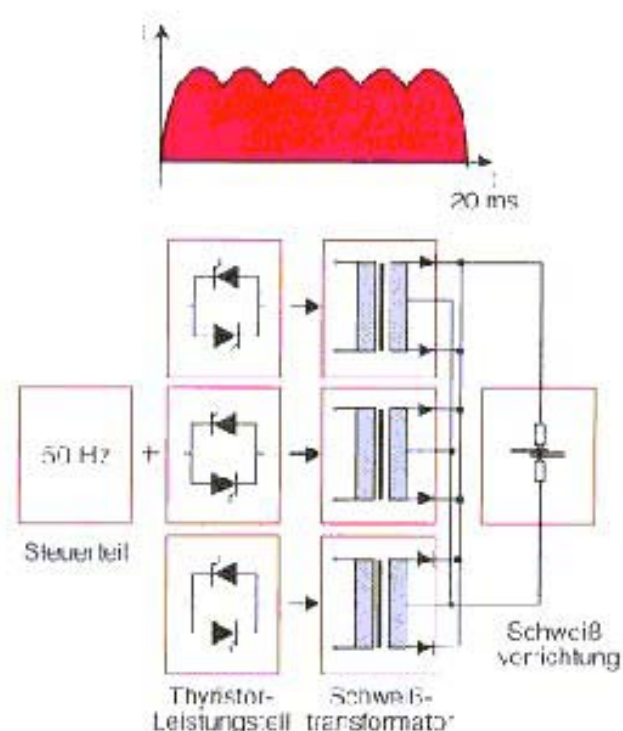


Fig. 18:  
Impulso a corrente alternata

## Tecnica del raddrizzamento trifase

**Risparmio di energia e rapidità di esecuzione** Il raddrizzamento trifase al secondario ha il suo dominio preferenziale proprio nella produzione in un ambito nel quale si tratta di saldare particolari di materiali diversi, critici o di grosse dimensioni. Caratteristico è l'ottenimento di un impulso di corrente senza interruzioni, cioè di un impulso a corrente continua con una bassa ondulosità residua. Le giunzioni realizzate con questo metodo presentano una struttura omogenea, superfici integre e una buona tenuta meccanica. Il raddrizzamento trifase permette di ottenere nella zona di saldatura una molto più uniforme ripartizione della corrente e una più regolare generazione di calore, con una crescita costante della lente di saldatura. Il fabbisogno di tempo e corrente per la formazione della lente è minore di quello richiesto nel caso dell'intermittente corrente alternata. Le saldatrici a resistenza dotate di questi comandi con circuiti trifase a sei impulsi (vedi fig. 19) sono adatte ad realizzare diverse giunzioni di metalli non ferrosi, metalli leggeri, materiali per contatti e conduttori, leghe per molle, bimetalli ecc. La loro potenza raggiunge i 3 x 270 KVA e oltre. Ultimamente però, come accennato, l'uso di queste macchine è prevalente per pezzi di grandi dimensioni, mentre per la minuteria questa sorgente viene perlopiù sostituita dai comandi a inverter, di minor costo e ingombro, a fronte di migliori prestazioni.

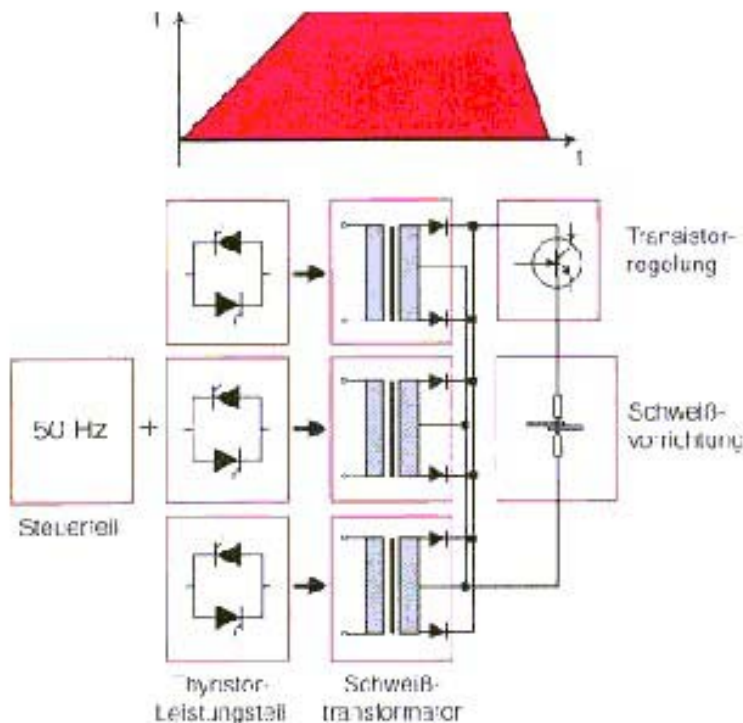
Fig. 19:  
Impulso di corrente  
secondaria trifase  
raddrizzata. Tipiche sono le  
6 "gobbe".



## Corrente continua regolata

Nel caso delle saldatrici a corrente continua regolata tramite transistori l'inserimento e la regolazione dell'impulso di corrente di saldatura non avviene al primario con parzializzazione della fase tramite tiristori, bensì al secondario per mezzo di transistori disposti a valle dei diodi raddrizzatori (vedi fig. 20). La massima potenza di commutazione e la perdita di potenza da dissipare limitano allo stato attuale dell'arte la potenza resa a 25 KW.

Fig. 20:  
Impulso di corrente  
secondaria raddrizzata e  
regolata tramite transistori  
di potenza.



**Perdite ridotte ed ottima controllabilità** - Le bassissime perdite e l'ottimale controllabilità del processo destinano la tecnica di saldatura a corrente continua regolata alla soluzione di quei problemi di saldatura finora impossibili da risolvere. L'impulso di saldatura può infatti durare da un minimo di un 1 ms a un massimo di 1500 ms. Con la regolazione in tempo reale in dipendenza dall'andamento della resistenza nella zona di saldatura il processo può essere pilotato in modo eccellente. Il campo di impiego di questi apparecchi si estende dall'applicazione dei più sottili elementi di contatto a strati metallici (circuiti ibridi, celle solari, circuiti stampati), passando per le saldature a punti o proiezione di fili o nastri profilati fino cuciture a rulli di corpi cavi. Anche questa tecnica è comunque in fase discendente, sempre a favore del sistema a inverter, che grazie alle frequenze di lavoro raggiunte consente ormai una "pulizia" dell'impulso di saldatura quasi assimilabile a quella della reale corrente continua regolata. Quest'ultima va dunque diventando una tecnologia di nicchia, per quei casi in cui p. e. è necessario un tempo di saldatura particolarmente lungo (fino a 1,2 sec.), di solito non disponibile con la tecnica a inverter.



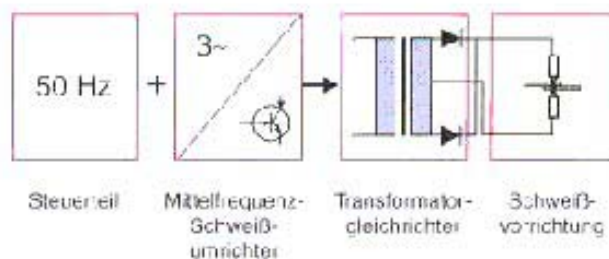
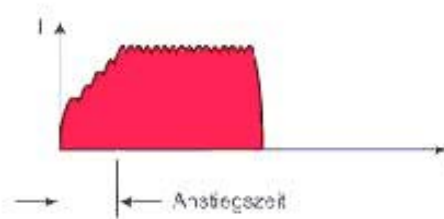
## Tecnica ad inverter a media frequenza

La tecnica ad inverter consente di ottenere un impulso a corrente continua dosato esattamente, nelle modalità a corrente costante, voltaggio costante o potenza costante, con tempo di saldatura regolabile in ms. I comandi hanno una frequenza di lavoro compresa tra 1000 Hz e 25 kHz e possono erogare correnti di saldatura fino a 150 kA (**Regolabili finemente ed esattamente**). Abbinamenti di materiali difficili, dove correnti uniformi possono migliorare il risultato della saldatura sono adatti ad essere trattati con tecnica ad inverter. Tra i materiali che traggono vantaggio dalla saldatura ad inverter vanno annoverati i metalli non ferrosi, i metalli leggeri, i sinterizzati, i materiali di contatto e i metalli con rivestimenti metallici superficiali.

Fig. 21:

*Forma d'onda tipica della tecnologia a inverter.*

*L'ondulosità residua è inversamente proporzionale alla frequenza. I moderni comandi a 20 KHz e più consentono di ottenere impulsi praticamente assimilabili a corrente continua regolata, con un costo assai minore ed un volume molto più contenuto.*



## Tecnica a scarica di condensatori

I vantaggi che derivano dall'utilizzo della tecnologia a scarica di condensatori sono di massima tre: erogazione di una grande quantità di energia in brevissimo tempo, elevata tensione secondaria e bassissimo assorbimento di corrente. Ciò li rende ideali per l'impiego per particolari sensibili al calore, per saldature a proiezione multipla o ad anello e laddove il carico di rete disponibile è assai ridotto. Uno svantaggio intrinseco può essere a carico della durata degli elettrodi, che per poter compensare gli effetti del picco di corrente devono essere premuti con maggiore forza usurandosi dunque maggiormente.

**Tensione di saldatura indipendente dalla rete** - Una batteria di condensatori viene caricata per un tempo relativamente lungo (dell'ordine di alcuni secondi, in dipendenza dalla percentuale di carica impostata) con una tensione di rete bassa (monofase 230 V) ad una tensione regolabile e stabilizzata, indipendente dalla tensione di rete stessa. Allo start del processo di saldatura l'energia elettrica immagazzinata viene trasferita con un'elevatissima ampiezza e in un tempo di pochi millisecondi, attraverso il trasformatore di saldatura, al pezzo in lavorazione (vedi Fig. 22). La tensione di carica raggiunta può essere dell'ordine delle migliaia di Volt.

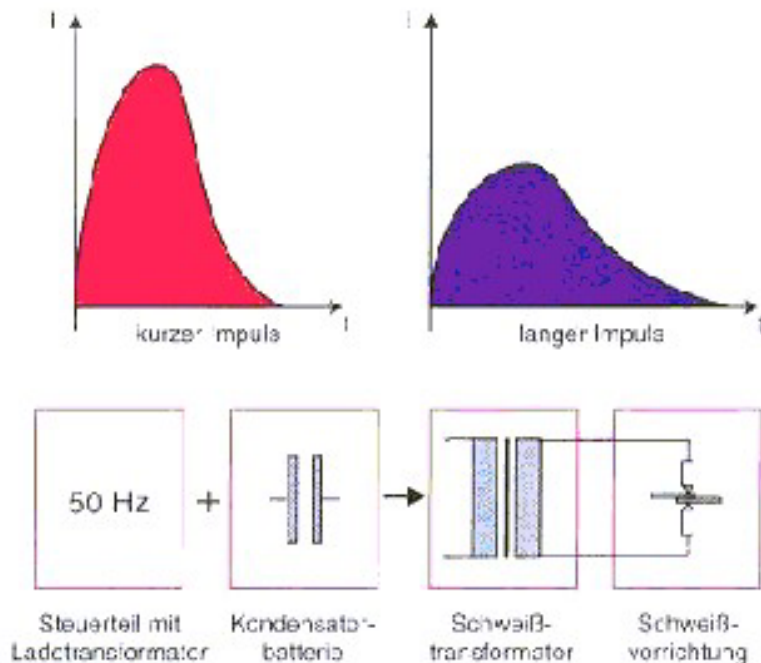


Fig. 22:  
Impulsi di una sorgente a scarica di condensatori. La durata massima di un tale impulso è dell'ordine dei 10 millisecondi.

## Comandi a microprocessori

E' molto interessante poter utilizzare, al posto dei normali stadi di comando, comandi programmabili a microprocessori.

**Flessibili...** - Per mezzo di essi è possibile memorizzare normalmente fino a 99 diversi programmi di saldatura richiamabili a piacere sia attraverso commutazione sul comando, sia dall'esterno tramite PLC. Tutti i parametri di un programma possono essere preselezionati e memorizzati direttamente. I dati inseriti sono controllabili con precisione poiché restano evidenziati su un indicatore digitale.

Anche i valori delle pressioni di chiusura e saldatura e i tempi di comando delle elettrovalvole delle saldatrici azionate pneumaticamente possono essere direttamente gestiti da questo tipo di comando (vedi Fig. 23).

**...e sicuri** - Alcune varianti di questi comandi, che integrano unità di controllo dei parametri elettrici di ogni programma di saldatura, verificando che siano all'interno delle soglie impostate, rispondono alle esigenze della più elevata sicurezza di processo. I parametri preselezionati e le correnti di saldatura rilevate, dopo ogni ciclo di saldatura, possono essere trasferiti, attraverso un'interfaccia RS232, a una stampante o a un PC,. Gli stessi dati possono essere elaborati con l'ausilio di specifici software (ISO 9000). Ultimamente, per il volume contenuto a fronte di elevate prestazioni si sono sempre di più affermate le versioni compatte, meno costose e con un cablaggio ridotto e più razionale.



Fig. 23: Comando a inverter compatto da 20 KHz

### 3.4 Sistemi di misura e controllo

**Controllo in tempo reale** - Si risponde alle sempre crescenti esigenze qualitative in ogni settore della produzione industriale con un controllo di processo in linea, il più possibile continuo, e anche a questo riguardo la saldatura a resistenza non fa eccezione. Specialmente su impianti ad elevata automazione, per la produzione di grandi serie di particolari su più turni di lavoro, i sistemi di misurazione e controllo sono imprescindibili.

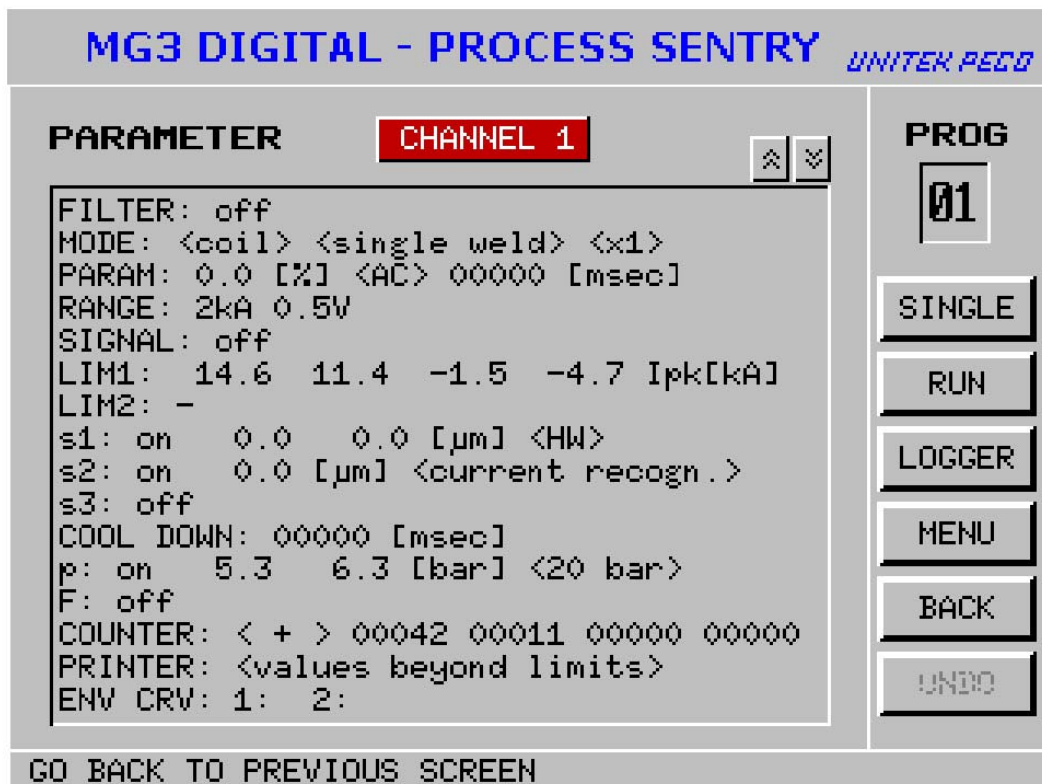


Fig. 24: Schermata dello strumento di controllo processo digitale MG3

In prima istanza vale anche per la saldatura a resistenza il fatto che valutazioni valide al 100% sulla qualità dei giunti prodotti sono possibili solamente dopo prove distruttive. E' però possibile, tramite l'osservazione dei più importanti parametri di saldatura, trarre conclusioni sulla qualità di saldatura che consentono un giudizio affidabile (vedi in particolare il capitolo *Garanzia della qualità*).

Nella saldatura a resistenza le grandezze misurabili sulla macchina si presentano sotto forma di segnali elettrici. Appositi rilevatori trasmettono i segnali a circuiti di misurazione, ove essi vengono amplificati, digitalizzati e visualizzati su schermo anche in forma grafica. Questi segnali, corrispondenti alle grandezze originarie misurate, possono essere confrontati con valori nominali riscontrati corretti per l'esecuzione di giunti della qualità desiderata. Risulta così possibile controllare lo stato e l'impostazione di una saldatrice, con lo scopo di ottenere una quanto più possibile costante qualità di saldatura. In caso di scostamenti viene emesso un segnale elettrico, che può essere impiegato per un processo di regolazione, per la documentazione o l'analisi continua (attraverso PC o stampante) dei parametri.

**Documentazione continua** - Le grandezze misurabili e le situazioni rilevabili sotto forma di segnali elettrici sono perlopiù le seguenti:

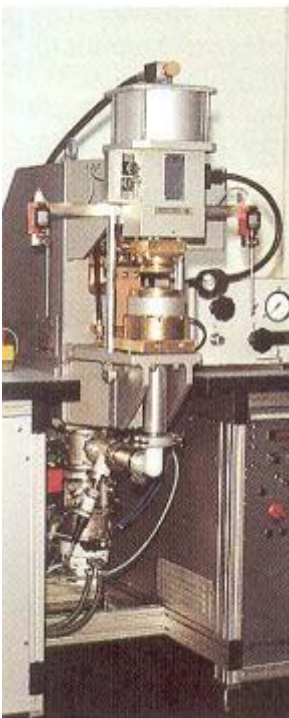
**Parametri di saldatura controllabili**

- La corrente di saldatura (primaria e secondaria),
- La tensione (primaria e secondaria),
- L'integrale corrente - tempo,
- L'integrale tensione - tempo,
- La potenza elettrica,
- Il lavoro e
- Il tempo di saldatura
- La forza di saldatura
- La pressione pneumatica di lavoro della testa di saldatura
- La penetrazione o assestamento dell'elettrodo in fase di saldatura
- La presenza pezzo
- La temperatura di lavoro dell'elettrodo

Tra questi la penetrazione dell'elettrodo ha assunto negli ultimi tempi sempre maggiore importanza per la valutazione della bontà del giunto. Sia il suo valore assoluto, sia il suo andamento durante il flusso della corrente di saldatura forniscono importanti indicazioni sul rapporto meccanico-dinamico della testa di saldatura e sulla formazione della lente di saldatura nella zona di giunzione. Il rilevamento dei valori avviene tramite righe ottiche montate sulla testa di saldatura. I valori rilevati danno inoltre informazioni concrete sulle differenze di spessore dei particolari da saldare prima della saldatura, permettendo così di non avviare il ciclo della corrente qualora un pezzo non sia presente o in corretta posizione.

### 3.5 Attrezzature e dispositivi per la saldatura

In senso proprio gli utensili per la saldatura a resistenza sono gli elettrodi. Un approfondimento a riguardo viene svolto più avanti nella trattazione (vedi *Elettrodi di saldatura*). In una più ampia formulazione del concetto sono da definirsi utensili di saldatura anche i portaelettrodi e soprattutto i portapezzo; infatti, anche nel caso della saldatura a resistenza, è fondamentale per una lavorazione uniforme la realizzazione di precisi dispositivi di posizionamento del pezzo. Anche una camera a vuoto, come quella visibile in figura 25, potrebbe rientrare nelle attrezzature per saldatura. I portapezzo devono garantire l'esatto posizionamento dei particolari da saldare. Particolari profilati come fili, bulloni o barre, per un sicuro trasferimento della corrente e della tensione, devono eventualmente essere bloccati. Con l'intento di avere elettrodi semplici ed economici da realizzare, il posizionamento non viene fatto possibilmente tramite elettrodi di forma complessa, bensì in sagome ricavate da metalli scarsamente o assolutamente non magnetizzabili, che dovrebbero essere ad un tempo resistenti all'usura e facili da lavorare.

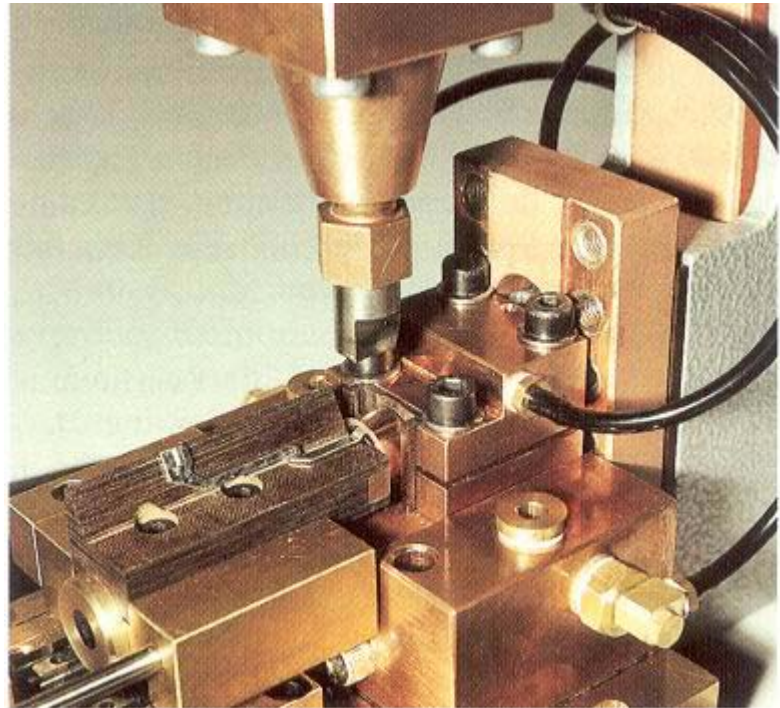


*Fig. 25:  
Saldatrice per chiusura ermetica di componenti (custodie DIL per semiconduttori). La saldatrice è dotata di pompe per il vuoto, camera a vuoto e programma per lavaggio con gas inerte durante le diverse fasi di un ciclo di saldatura.*

**Precisione di posizionamento** - La precisione di posizionamento dei pezzi uno rispetto all'altro viene garantita da superfici di contenimento, perni spinati e, se del caso, da magneti. Importante comunque è che gli elettrodi e la struttura di supporto non permettano derivazioni di corrente. Correnti vaganti incontrollate devono essere assolutamente evitate, prevedendo appositi elementi di isolamento (vedi Fig. 26). Pezzi torniti, tranciati o imbutiti possono essere riferiti tramite perni, proiezioni, eccentrici ecc., in modo tale che solo uno dei due pezzi debba essere guidato con una sagoma. I necessari bloccaggi e sbloccaggi possono essere comandati attraverso

azionamenti meccanici, pneumatici o idraulici, in relazione alla corsa di lavoro della saldatrice. Poiché i sistemi automatici per la produzione di lotti importanti costituiscono la maggioranza degli impieghi in questo campo, i dispositivi di alimentazione e scarico – e in generale altri componenti per l'automazione – usati al contorno di una stazione di saldatura acquisiscono sempre maggiore significato (vedi capitolo *Meccanizzazione del processo*).

*Fig. 26:  
Attrezzatura di posaggio e  
riferimento di particolari da  
saldare a resistenza.*



**Materiali d'apporto alla saldatura** - Qualche parola deve essere spesa per i cosiddetti materiali d'apporto. Come già menzionato all'inizio di questa trattazione, fa parte dei vantaggi intrinseci al processo di saldatura a resistenza il fatto che non siano necessari materiali d'apporto. Ciò nondimeno può essere vantaggioso in alcuni casi migliorare il processo con l'ausilio di questi materiali. Così per esempio, per la lavorazione di alcune combinazioni di materiali è talvolta necessario lavorare in atmosfera di gas protettivi. In senso lato anche elementi utilizzati per rivestimenti superficiali come stagno, argento o zinco possono essere trattati come materiali d'apporto. Essi infatti aiutano in alcuni casi il processo di saldatura a garantire maggiore uniformità e tenuta meccanica. Anche lamine interposte rispondono allo stesso scopo.

Nel caso in cui si effettui una brasatura con saldatrici a resistenza deve essere ovviamente impiegata una lega per brasatura. Molto spesso si dispongono tra le superfici di contatto lamine di argento-fosforo, un brasante utilizzabile senza flussante.