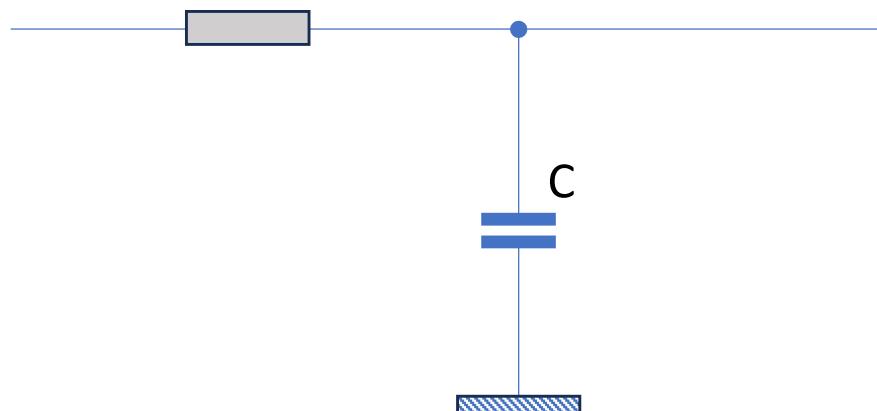


EDM-RC-60V-5A

Sistema per foratura e stampaggio ad elettroerosione RC



R



Sistema per foratura e stampaggio ad elettroerosione RC.

Data realizzazione: Dicembre 2024- Gennaio 2025. Progetto e realizzazione Marcello Caselli.

Caratteristiche:

Alimentazione 220Vca.

Potenza massima 600 W.

Tensione di alimentazione elettrodo 60Vcc.

Sistema basato su circuito RC.

Corrente massima di lavoro (all'ingresso del circuito RC) 5A.

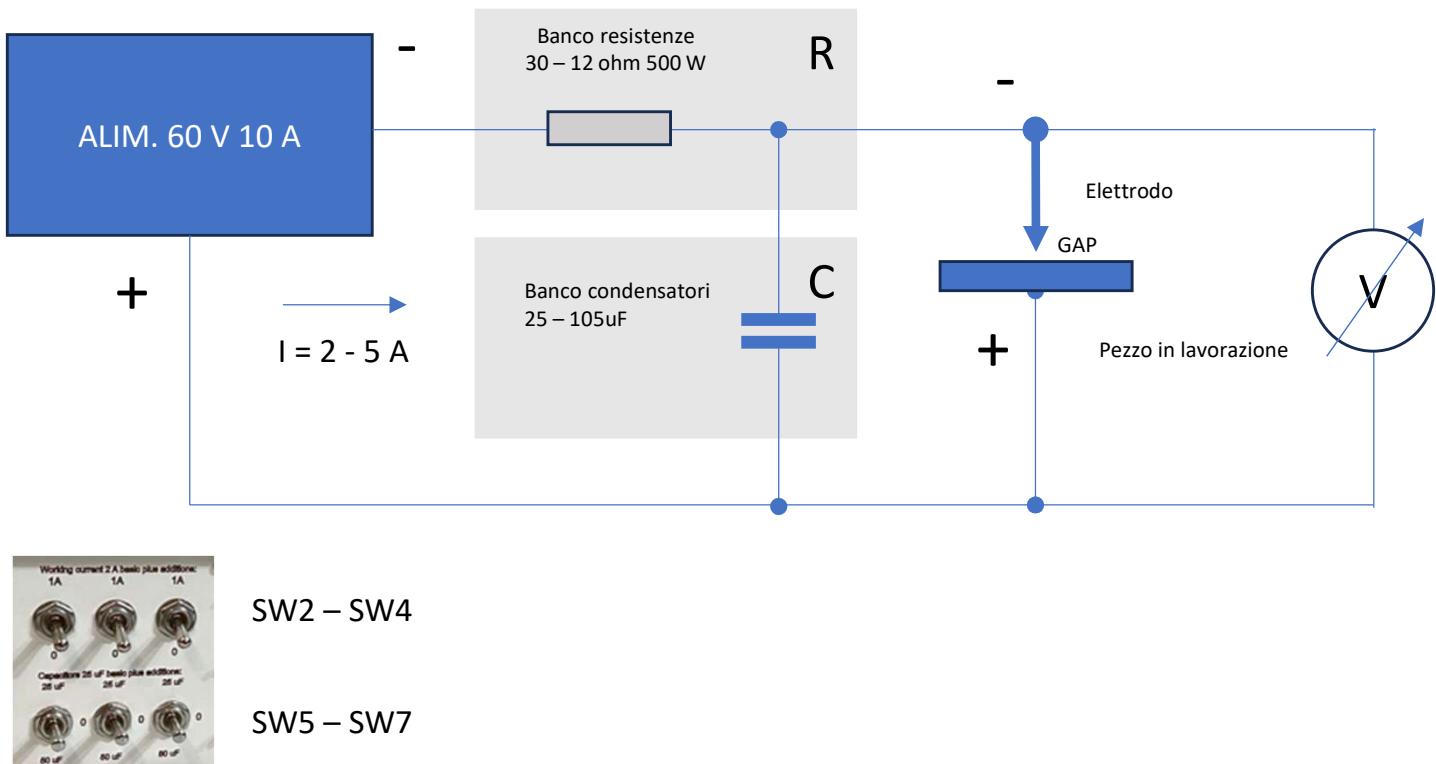
La corrente può essere regolata attraverso una gamma di 4 valori, a cui corrispondono 4 diversi valori della resistenza di lavoro del circuito RC :

2A di corrente sono la base fissa (garantita da un parallelo di due resistenze di potenza da 60 ohm 100W), ai quali è possibile sommare 3 incrementi, ciascuno di 1A, tramite la selezione dei 3 rispettivi interruttori (SW2 – SW4) che consentono di aggiungere in parallelo al banco fisso ulteriori 3 resistenze da 60 ohm 100W.

La capacità di lavoro del circuito RC può essere regolata attraverso una gamma di 9 diversi valori:

25uF; 50uF; 75uF; 100uF; 105uF; 125uF; 155uF; 180uF; 205uF.

25uF sono la base fissa, alla quale è possibile sommare 8 incrementi tramite l'impostazione dei 3 selettori (SW5 – SW7) come riportato nella tabella a piè pagina.



Deviatore	Posizione	Peso													Peso	Posizione	Interruttore
Condensatore fisso da 25 uF da sommare ai valori selezionati dai 3 deviatori																	
SW5	1	25 uF	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	25 uF	1	SW5
	2	50 uF	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	50 uF	2	
SW6	1	25 uF	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	25 uF	1	SW6
	2	50 uF	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	50 uF	2	
SW7	1	25 uF	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	25 uF	1	SW7
	2	80 uF	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	80 uF	2	
Capacità totale			25 uF	50 uF	75 uF	100 uF	105 uF	125 uF	155 uF	180 uF	205 uF	Capacità totale					

L'intero sistema si compone di due apparecchiature distinte: il box di controllo e la testa motorizzata che ospita l'elettrodo o utensile o stampo; noi lo chiameremo per semplicità «elettrodo».



Box di controllo



Testa motorizzata

Il Box di controllo contiene la maggior parte della componentistica: all'interno del box alloggiano 3 alimentatori; 220Vac/60Vcc 10 A per il circuito di potenza; 220Vac/12Vcc 4 A per l'alimentazione dell'elettronica di controllo e della testa motorizzata, 220Vac/24Vac 0,5A per l'alimentazione dei circuiti ausiliari (teleruttore di potenza e relè ausiliario); il banco dei condensatori; il banco delle resistenze di potenza; la scheda con la logica di controllo; la scheda dei relè di rilancio; il controller del motore passo-passo della testa motorizzata; il gruppo teleruttore e relè per il controllo del circuito di potenza 60Vcc.

Sul pannello frontale del box troviamo gli interruttori ed i selettori per la gestione del circuito di potenza ed i relativi connettori di uscita, i comandi ed i controlli per il movimento della testa motorizzata ed il relativo connettore a 12 poli.

Il circuito di potenza, tramite due cavi da 2,5 mmq, alimenta l'elettrodo e fornisce il riferimento di massa al pezzo in lavorazione. **Nota:** il colore rosso identifica il collegamento all'elettrodo, mentre il nero identifica il collegamento di massa; Il colore non indica la polarità secondo le convenzioni, indica semplicemente la funzione. Normalmente all'elettrodo viene fornita la polarità negativa ed al pezzo in lavorazione la polarità positiva, un apposito selettore consente di invertire le polarità.

La sezione di controllo della testa motorizzata ha due modalità di funzionamento: manuale ed automatico. Funziona in maniera autonoma rispetto al circuito di potenza se si è nella modalità manuale, in maniera coordinata con il circuito di potenza se si è nella modalità automatico.

Facendo un riferimento (non del tutto appropriato ma ci concediamo una licenza poetica..) all'utilizzo di una saldatrice ad elettrodo, una volta accesa la saldatrice, occorre una pinza porta elettrodo che possa essere controllata dalla mano di un saldatore sufficientemente esperto.

Nel nostro caso la pinza è il mandrino della testa motorizzata e la funzione della mano esperta viene svolta dalla scheda che ospita la logica di controllo, in combinazione con l'insieme della testa motorizzata.

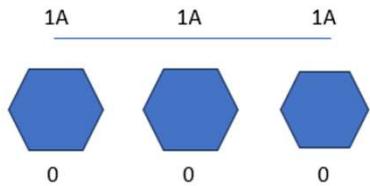
La testa motorizzata può compiere i soli movimenti di salita e discesa rispetto al pezzo in lavorazione, è una sorta di trapano a colonna e come si è detto può funzionare nella modalità manuale oppure in automatico.

Un apposito selettore sul pannello frontale del box di controllo permette la selezione della modalità desiderata. La modalità manuale viene utilizzata per consentire gli spostamenti di aggiustamento dell'altezza dell'elettrodo prima di iniziare la lavorazione. Per il posizionamento sono disponibili due selettori (marcati Up – Down); uno è posto sul pannello frontale del box di controllo e l'altro è posto sulla pulsantiera della testa motorizzata.

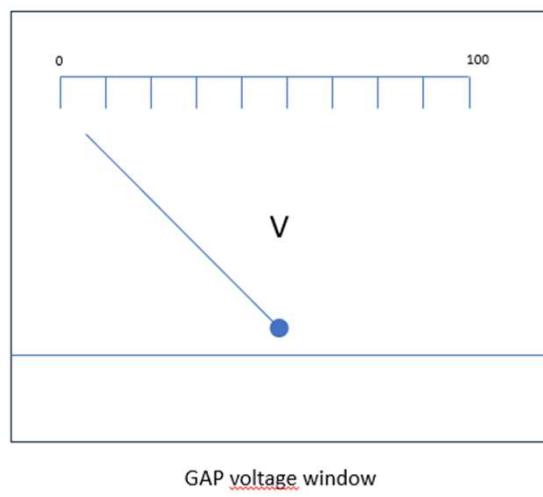
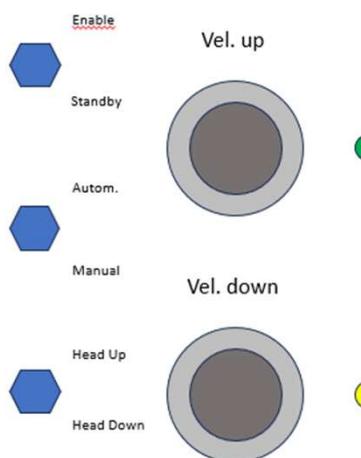
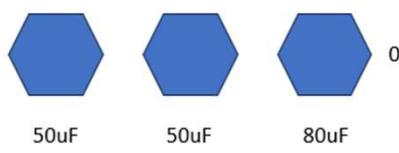
Posizionando il selettore manuale-automatico in modalità automatico si da inizio alla lavorazione, che si avvia solo quando e se è stato dato il comando di start al circuito di potenza dei 60Vcc.

Il selettore Enable – Stanby consente di sospendere l'avanzamento della testa senza interferire sull'alimentazione di potenza, Il pulsante di stop interrompe l'alimentazione di potenza ed arresta l'avanzamento automatico della testa.

Working current 2 A basic plus additions:



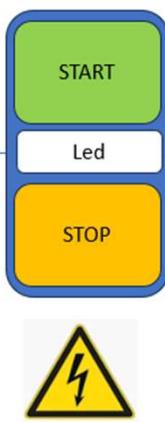
Capacitors 25 μ F basic plus additions:



Electrode

WorkPiece

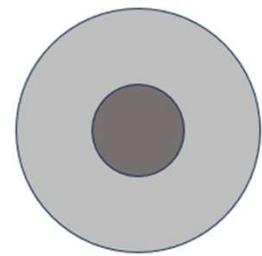
60 Vcc



Electr. positive

Electr. negative

Head plug



EDM-RC-60V-5A

Sezione controlli potenza 60 Vcc

Sezione controlli testa motorizzata

Sopra è mostrata una rappresentazione grafica del pannello frontale del box di controllo.

Nella parte sinistra si trova la sezione dei controlli di potenza del circuito di alimentazione dell'elettrodo (60Vcc),

Nella parte destra si trova la sezione dei controlli della testa motorizzata che governa i movimenti di discesa e salita dell'elettrodo.

Iniziamo con la descrizione dei controlli che riguardano il circuito di alimentazione a 60Vcc dell'elettrodo.

In alto a sinistra vediamo i tre interruttori per l'impostazione della corrente di lavoro. Sono degli interruttori a levetta con funzione on-off. Posto nello stato «on», ogni interruttore inserisce la resistenza associata (60 ohm) in parallelo al banco principale consentendo un incremento della corrente di 1 A.

Al di sotto troviamo i tre selettori (di fatto sono deviatori a levetta con zero centrale) per l'impostazione del banco dei condensatori. Come avviene per il banco delle resistenze, ogni selezione aggiunge in parallelo al banco principale il condensatore associato.

Sotto ancora troviamo i due connettori per alimentare l'elettrodo e la massa del pezzo in lavorazione.

Nota: il colore rosso identifica il collegamento all'elettrodo, mentre il nero identifica il collegamento di massa;

Il colore non indica la polarità secondo le convenzioni, indica semplicemente la funzione. Normalmente all'elettrodo viene fornita la polarità negativa ed al pezzo in lavorazione la polarità positiva, un apposito selettore consente di invertire le polarità.

A fianco dei connettori si trova la pulsantiera di Start-Stop che controlla l'alimentazione di potenza dell'elettrodo (60Vcc); A destra della pulsantiera troviamo il selettore che consente di invertire la polarità dell'alimentazione dell'elettrodo. Vedremo in seguito come gestire polarità e potenza dell'alimentazione dell'elettrodo.

NOTA IMPORTANTE SULLA PULSANTIERA DI START-STOP.

Attenzione! Avviare l'alimentazione di potenza solo dopo avere terminato le operazioni di posizionamento del pezzo in lavorazione, il posizionamento dell'elettrodo ed il riempimento della vasca dell'elettrolita.

La tensione di alimentazione dell'elettrodo è di **60 Volt in corrente continua**: è un voltaggio che **dove** essere considerato **pericoloso**!



E' opportuno operare con le dovute cautele mentre la macchina è in funzione.

Utilizzare dei guanti asciutti e rivestiti in gomma per minimizzare i rischi in caso di contatti accidentali con le parti in tensione.



SW2 – SW4 Interruttori per il controllo della corrente

SW5 – SW7 selettori per il controllo della capacità

SW8 selettore per l'inversione della polarità dell'elettrodo



Pulsantiera start-stop
Alimentazione potenza 60 Vcc

Connettori
Alimentazione potenza 60 Vcc

La pulsantiera, oltre alla funzione ovvia di controllare l'alimentazione di potenza, svolge anche una funzione di controllo sulla modalità di funzionamento in automatico dell'intero sistema.

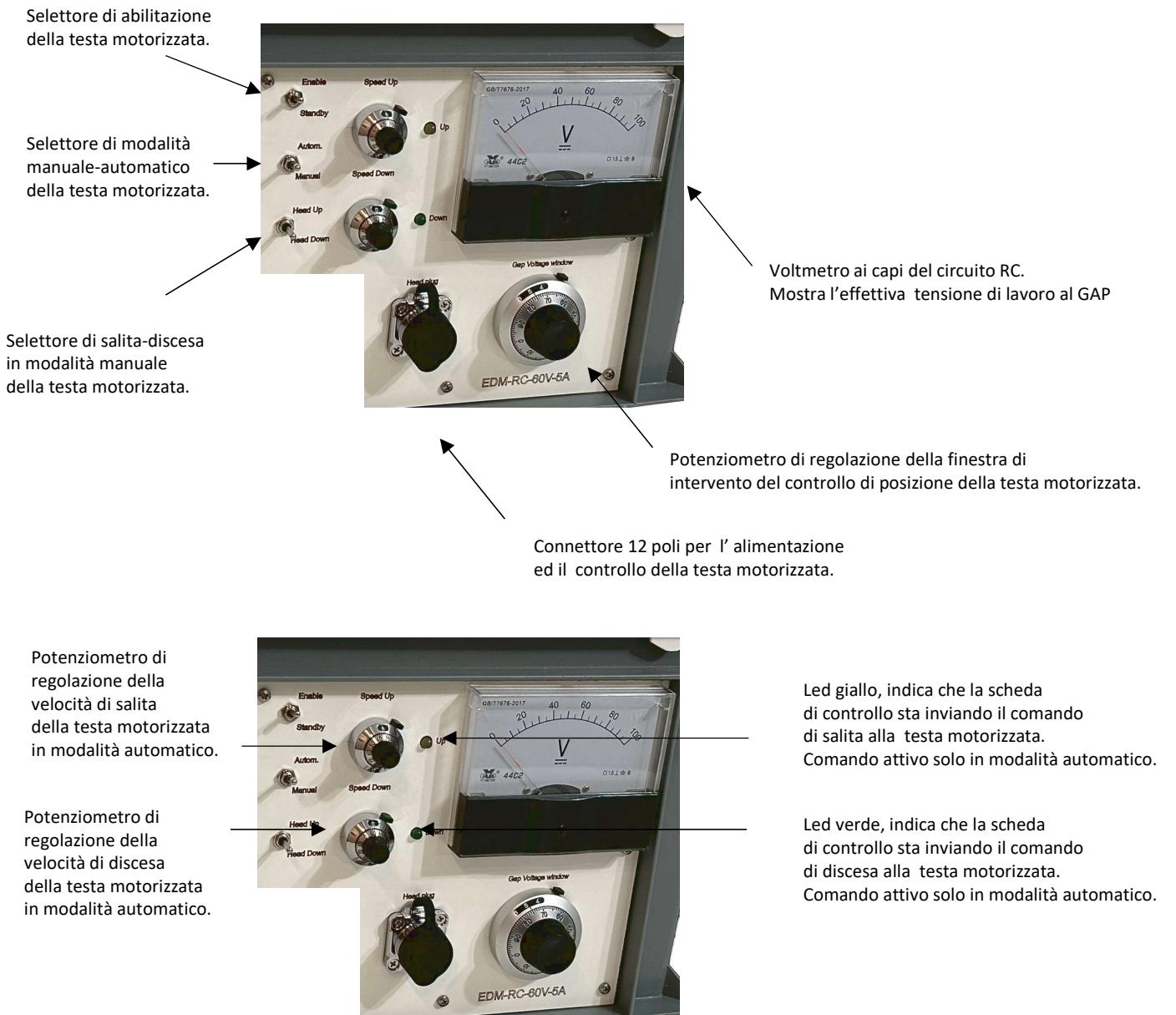
Se l'alimentazione dell'elettrodo non viene avviata, la discesa in modalità automatica della testa è inibita.

Se l'alimentazione dell'elettrodo viene interrotta, la discesa in modalità automatica della testa è inibita.

In modalità automatica nulla si muove se non è presente l'alimentazione dell'elettrodo.

L'accensione della spia luminosa posta fra i pulsanti start – stop indica la presenza della tensione ai capi dei morsetti di uscita della potenza 60Vcc.

Vediamo ora in dettaglio i controlli relativi alla testa motorizzata posti sul pannello del box di controllo.



Le regolazioni delle velocità di salita e discesa della testa motorizzata hanno effetto solo in modalità automatico, mentre la velocità di movimento della testa in modalità manuale è controllata in maniera indipendente dall'apposito trimmer posto direttamente sulla scheda della logica di controllo.

(In effetti le impostazioni delle velocità di salita o discesa influenzano in minima parte anche la velocità preimpostata per la modalità manuale, ma essendo previsto che il movimento della testa in modalità manuale debba essere, per motivi pratici, più veloce rispetto alla modalità in automatico, l'impostazione del trimmer pesa in modo maggiore e prevale rispetto a quella dei due potenziometri).

In modalità automatico è opportuno che la velocità di discesa (in micron al secondo) equivalga il più possibile alla velocità di erosione, per cui il movimento di discesa deve essere molto lento e consentire un controllo micrometrico della distanza a cui avviene la scarica elettrica fra l'elettrodo ed il pezzo in lavorazione.

In teoria, se la discesa avvenisse di pari passo con quanto materiale viene eroso sul pezzo in lavorazione, il movimento avverrebbe in maniera continua e costante. Ma queste condizioni nella realtà non possono essere mantenute, per cui il controllo della testa è progettato in modo da intervenire se la distanza fra elettrodo e pezzo aumenta troppo e le scariche elettriche si interrompono (abbassando quindi l'elettrodo), oppure se l'elettrodo si avvicina troppo col rischio di causare un corto circuito (alzando l'elettrodo di quel tanto che basta per evitare il corto circuito).

È chiaro quindi che il movimento di salita può essere leggermente più veloce (ma non troppo) rispetto a quello di discesa. Dal momento che le operazioni di aggiustamento avvengono con una cadenza di decine di secondi, anche risparmiare qualche decimo di secondo nell'arco di una lavorazione che può durare da qualche decina di minuti a diverse ore, nella somma comporta senz'altro una riduzione sensibile del tempo necessario per portare a termine la lavorazione.

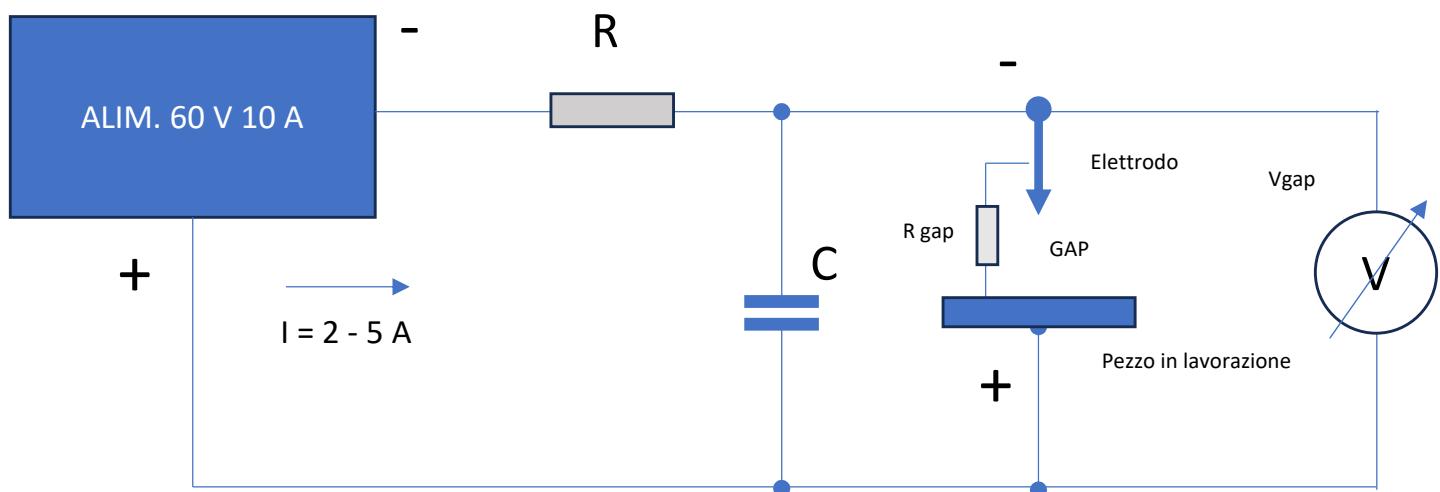
La regolazione del potenziometro della finestra di intervento della testa motorizzata decide la tensione di lavoro a cui avvengono le scariche nello spazio fra elettrodo e pezzo in lavorazione (GAP).

Vanno compresi una serie di concetti importanti: l'elettrodo non deve mai toccare il pezzo in lavorazione (a questo provvede la testa motorizzata); va evitato il surriscaldamento sia del pezzo nella zona della lavorazione che dell'elettrodo (a questo provvede l'elettrolita, che ha principalmente la funzione di dielettrico ed in seconda battuta essendo un liquido, funziona egregiamente anche come refrigerante);

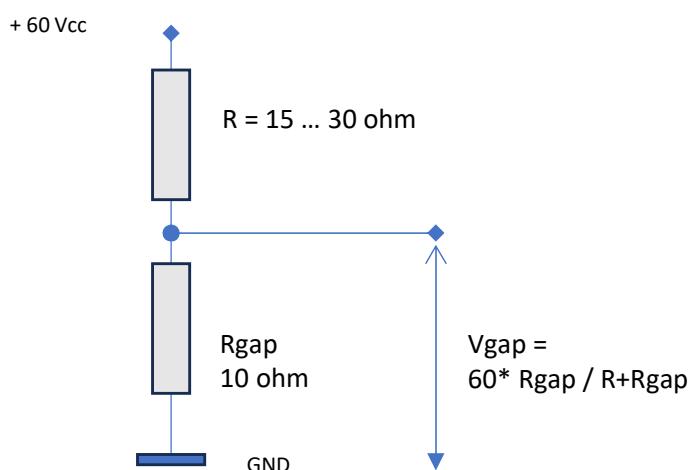
l'arco voltagico deve essere costantemente interrotto e frazionato in micro scariche, veloci, potenti, distinte.

A questa ultima funzione provvede il circuito RC; un condensatore di opportuna capacità viene alimentato tramite una resistenza di opportuno valore. Dopo un tempo determinato dai valori di R se di C la tensione ai capi del condensatore può raggiungere nel nostro caso i 60 Volt (pari alla tensione dell'alimentatore di potenza); se la distanza fra elettrodo e pezzo in lavorazione è tanto piccola quanto basta ai 60V (o a tensioni anche minori) per rompere la rigidità del dielettrico posto fra elettrodo e pezzo in lavorazione, si innesca un arco voltagico che con la sua bassa resistenza consente la scarica del condensatore. L'arco voltagico è caldissimo, diverse migliaia di gradi centigradi, ed impattando sul metallo del pezzo in lavorazione, attraverso meccanismi sia fisici che elettrici ne vaporizza ed asporta piccole porzioni. A questo punto il condensatore si è scaricato e l'arco viene interrotto, è necessario attendere il prossimo ciclo di carica del condensatore perché possa venire generato un nuovo arco voltagico. Questo avviene con una cadenza di centinaia o migliaia di cicli al secondo, dipende dai valori scelti per R e C.

Lo spazio fra elettrodo e pezzo (GAP) è un luogo molto interessante; fra le tante caratteristiche che possiede ha anche quella di essere un componente del circuito elettrico di potenza, quando non c'è l'arco voltagico è un interruttore aperto, nel momento in cui si innesca l'arco voltagico può essere considerato (anche se in maniera non del tutto precisa) equivalente ad una resistenza variabile attorno ad un valore centrale di una decina di ohm, con oscillazioni in più o in meno qualche unità di ohm. Questa resistenza rispetto alla massa è in serie alla resistenza R e nell'insieme formano un partitore di tensione come mostrato nella figura sottostante.



Rappresentazione schematica del partitore di tensione R - Rgap

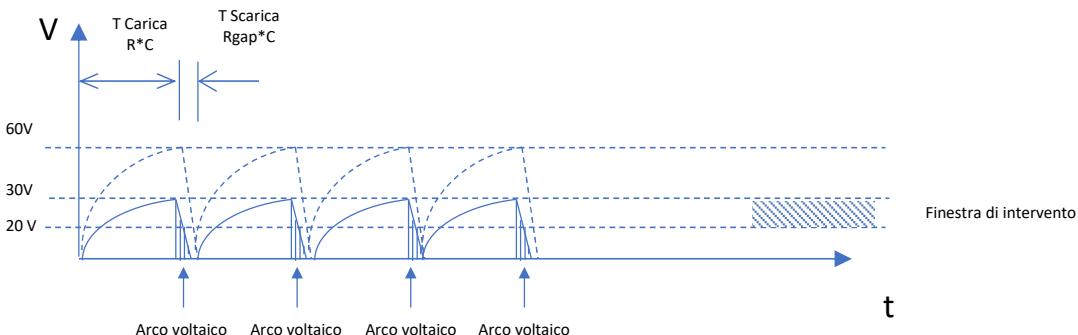


A puro titolo di esempio possiamo immaginare che in un dato regime di funzionamento regolare della macchina, la tensione ai capi del GAP si muova all'interno di una finestra compresa fra i 20 ed i 30 V, attorno ad un punto centrale di 25 V. Poniamo che regolando il potenziometro della finestra di intervento al valore 3 della sua scala, andiamo a dire alla logica di controllo che il punto centrale della finestra di lavoro è a 25 V.

Questa regolazione fine si fa con la macchina funzionante a regime, per cui possiamo leggere direttamente sul voltmetro l'ampiezza della finestra di lavoro e stimare quindi il suo centro. Per come è costruita la logica di controllo, la finestra di lavoro è stata pensata in modo da avere proprio una ampiezza fissa di 10V. (Non è proprio un caso...)

A questo punto abbiamo un GAP che lavora fra i 20 V ed i 30 V ed una logica di controllo che si adagia egregiamente su questa situazione ... i giochi sono fatti! La logica di controllo sa che se la tensione al GAP supera i 30V significa che non avvengono più le scariche elettriche, quindi dice alla testa di abbassare l'elettrodo. Se la tensione scende sotto i 20 V la logica di controllo sa che l'elettrodo è troppo vicino al pezzo, quindi dice alla testa di alzare un pochettino, ma quanto? Quanto basta perché la tensione ritorni a salire al di sopra dei 20 V.

Se collegassimo un oscilloscopio ai capi del GAP vedremmo grossomodo quanto schematizzato nella rappresentazione sottostante. Si può osservare come il tempo di scarica dei condensatori sia più corto rispetto al tempo di carica, poiché questa fase avviene attraverso l'arco voltaico, che ha una resistenza più bassa rispetto alla resistenza utilizzata per caricare i condensatori. Quando la tensione ai capi dei condensatori raggiunge il punto di rottura del dielettrico scocca l'arco voltaico, che si esaurisce quando l'energia accumulata nei condensatori si è trasformata in calore; il GAP a questo punto si comporta come un interruttore aperto e può ricominciare un nuovo ciclo di carica del condensatore.



Variando la posizione del potenziometro della finestra di intervento verso valori più bassi tutta la situazione si sposta verso il basso, viceversa accade se lo si varia verso valori più alti. Più in alto si va più alta è anche l'energia immagazzinata nei condensatori e l'energia sviluppata da ciascun arco voltaico generato.

Se si raddoppia la tensione ai capi di un condensatore, l'energia immagazzinata quadruplica $e = 1/2 (C * V^2) / 10E-6$ espressa in joule. Da questo si può dedurre quale tipo di influenza può avere la posizione della finestra di lavoro sulla velocità di lavorazione.

L'impostazione della corrente definisce la velocità con cui vengono ricaricati i condensatori

L'impostazione del banco condensatori definisce potenzialmente quanta energia può entrare in gioco.

L'impostazione della finestra di lavoro definisce l'effettiva energia in gioco.

La combinazione fra corrente (e quindi resistenza) di lavoro e capacità decide la frequenza di lavoro del circuito RC.

La costante di un circuito RC è espressa in secondi ed indica il tempo che un condensatore impiega a caricarsi al 63,2% della sua capacità di carica totale, oppure a scaricarlo al 36,8% della sua differenza di potenziale raggiunta in fase di carica.

$t = R \cdot C$ con R espresso in ohm e C in Farad il tempo t è espresso in secondi; dividendo il tutto per $10E-6$ si può esprimere C in uF. La frequenza in Hz con cui si succedono i cicli di carica-scarico in un sistema che sfrutta il circuito RC è espressa da: $\text{Freq.} = 1/t$

A titolo di esempio se impostiamo $C = 25\mu F$ $R=12 \Omega$ (ovvero per una corrente di 5 A, ma la corrente è solo una conseguenza del fatto che è stata selezionata una resistenza di 12Ω), avremo:

$$t = (12\Omega * 25\mu F) / 1.000.000 = 0,0003 \text{ sec.} \quad \text{Frequenza} = 1/t = 1/0,0003 = 3.333 \text{ Hz} = 3,33 \text{ KHz.}$$

Nella pagina successiva è disponibile una tabella con tutte le corrispondenze.

La logica di controllo è solo l'interprete di quanto avviene nello spazio del GAP: ne misura la tensione, ne valuta il valore ed invia i comandi opportuni alla testa motorizzata.

E' quest'ultima il vero artefice dal punto di vista operativo di quanto avviene al GAP; con i suoi movimenti micrometrici esegue puntualmente i comandi ricevuti dalla logica di controllo in maniera stabile e con una discrezione dell'ordine del decimo di micron, reimpostando continuamente in maniera delicata la distanza fra elettrodo e pezzo man mano che procede l'erosione. E' stato detto in precedenza che il GAP a regime si comporta come una resistenza variabile, questa resistenza dipende principalmente dalla distanza fra elettrodo e pezzo in lavorazione, che a sua volta influenza il regime delle scariche elettriche che a loro volta influenzano la resistenza di GAP, e nell'insieme viene influenzata la tensione di GAP che viene letta dalla logica di controllo che a sua volta invia i comandi alla testa per mantenere il sistema all'interno della finestra di lavoro.

Il punto di equilibrio attorno al quale ruotano tutte queste variabili determina il punto di lavoro del sistema, che è in continua evoluzione nel tempo man mano che del materiale viene asportato dal pezzo in lavorazione.

Il punto di lavoro è impostato dal potenziometro che regola la posizione della finestra di lavoro; della serie si fa prima a farlo che a raccontarlo.

Tabella della costanti R*C; frequenza ed energia

Corrente Ampere	Capacità uF	Resistenza Ohm	R*C in secondi	Frequenza Hz	Energia 1/2 (C *V ²)/10E-6 Joule a 60 V	Energia 1/2 (C *V ²)/10E-6 Joule a 30 V
2	25	30	0,00075	1333	0,05	0,01
2	50	30	0,0015	667	0,09	0,02
2	75	30	0,00225	444	0,14	0,03
2	100	30	0,003	333	0,18	0,05
2	105	30	0,00315	317	0,19	0,05
2	125	30	0,00375	267	0,23	0,06
2	155	30	0,00465	215	0,28	0,07
2	180	30	0,0054	185	0,32	0,08
2	205	30	0,00615	163	0,37	0,09
3	25	20	0,0005	2000	0,05	0,01
3	50	20	0,001	1000	0,09	0,02
3	75	20	0,0015	667	0,14	0,03
3	100	20	0,002	500	0,18	0,05
3	105	20	0,0021	476	0,19	0,05
3	125	20	0,0025	400	0,23	0,06
3	155	20	0,0031	323	0,28	0,07
3	180	20	0,0036	278	0,32	0,08
3	205	20	0,0041	244	0,37	0,09
4	25	15	0,000375	2667	0,05	0,01
4	50	15	0,00075	1333	0,09	0,02
4	75	15	0,001125	889	0,14	0,03
4	100	15	0,0015	667	0,18	0,05
4	105	15	0,001575	635	0,19	0,05
4	125	15	0,001875	533	0,23	0,06
4	155	15	0,002325	430	0,28	0,07
4	180	15	0,0027	370	0,32	0,08
4	205	15	0,003075	325	0,37	0,09
5	25	12	0,0003	3333	0,05	0,01
5	50	12	0,0006	1667	0,09	0,02
5	75	12	0,0009	1111	0,14	0,03
5	100	12	0,0012	833	0,18	0,05
5	105	12	0,00126	794	0,19	0,05
5	125	12	0,0015	667	0,23	0,06
5	155	12	0,00186	538	0,28	0,07
5	180	12	0,00216	463	0,32	0,08
5	205	12	0,00246	407	0,37	0,09

Di seguito la sequenza delle operazioni di impostazione ed avvio della lavorazione.

- 1) Posizionare il pezzo in lavorazione all'interno della vasca di contenimento dell'elettrolita
- 2) Installare l'elettrodo sul mandrino della testa motorizzata
- 3) Collegare i cavi della potenza all'elettrodo ed al pezzo in lavorazione
- 4) Aggiungere l'elettrolita nella vasca di contenimento
- 5) Accendere il control box tramite l'interruttore generale posto nel retro (non avviare ancora l'alimentazione di potenza 60Vcc)
- 6) Impostare la modalità di controllo manuale della testa motorizzata
- 7) Avvicinare l'elettrodo al pezzo in lavorazione, centrare il punto della lavorazione
- 8) Regolare il magnete che aziona il finecorsa (contatto reed) di massima discesa in base alla profondità della lavorazione
- 9) Accendere ed azzerare il calibro di discesa
- 10) Avviare l'alimentazione di potenza 60Vcc tramite il pulsante Start
- 11) Impostare la discesa della testa in modalità automatico

Regolazioni.

Scelta della polarità:

Di regola l'utensile viene collegato al negativo ed il pezzo in lavorazione al positivo, tuttavia alcune lavorazioni particolari potrebbero richiedere una polarità invertita, per questo motivo sul pannello del control box è stato predisposto il selettori per l'inversione della polarità.

Generalmente nelle apparecchiature elettriche il colore rosso identifica il polo positivo, nel nostro caso identifica il morsetto e ed il cavo che alimentano l'elettrodo, mentre il colore nero identifica la massa.

La maggior parte dell'erosione è a carico del pezzo in lavorazione, comunque è normale che anche l'elettrodo subisca a sua volta un minimo di erosione, tipicamente può avere una entità fra 1% e 5%, cioè 1 – 5 millimetri cubi a carico dell'elettrodo ogni 100 millimetri cubi di materiale asportato dal pezzo in lavorazione.

Corrente di lavoro e capacità dei condensatori:

La scelta della corrente di lavoro e della capacità dei condensatori dipende sia dalle dimensioni dell'elettrodo che dal grado di finitura della lavorazione che si vuole ottenere.

Una bassa corrente associata ad una bassa capacità permetterà di ottenere una lavorazione più accurata, naturalmente aumenterà il tempo necessario per svolgere la lavorazione.

Correnti alte associate ad alte capacità sviluppano un'energia più alta e quindi la lavorazione che ne risulta è più veloce ma grossolana. Per offrire la massima flessibilità è stata data la possibilità di potere scegliere fra una certa gamma di valori di corrente e capacità; la migliore combinazione di questi valori per un particolare tipo di lavorazione va sperimentata sul campo.

Non è stata prevista una misura diretta della corrente di lavoro in quanto ci si è affidati alla pura legge di Ohm; Abbiamo 60 Volt, come base fissa una resistenza da 30 ohm (parallelo di due resistenze da 60 ohm), quindi avremo $I = V/R$ la corrente sarà $60/30 = 2$ A. Ogni ulteriore aggiunta in parallelo di una resistenza di 60 ohm porta ad un incremento di 1 A; è una riferimento utile per aver un'idea dell'energia in gioco nel circuito di potenza.

Del resto l'effettiva corrente che attraversa il GAP non è facilmente calcolabile in quanto è definita dalla tensione di carica, dalla effettiva resistenza di GAP che influisce sulla corrente di scarica dei condensatori coinvolti, nonché dalla posizione impostata per la finestra di lavoro.

Velocità dell'utensile:

Facile: più bassa è, meglio è, ma non troppo.

E' stata data la possibilità di regolare con molta accuratezza sia la velocità di discesa che quella di risalita per dare la maggiore versatilità possibile alla macchina. La velocità di scesa non deve essere troppo bassa per evitare vuoti nella fase attiva dell'erosione e nemmeno troppo alta per evitare continue correzioni di risalita della testa. La velocità di salita può essere leggermente più alta rispetto a quella di discesa, ma non troppo perché essendo poi la discesa molto lenta, si andrebbero a generare delle pause nella fase attiva dell'erosione. La cadenza con cui interviene la logica di controllo è resa visibile, sul pannello del box di controllo, dall'accensione del led verde per l'abbassamento della testa motorizzata e dal led giallo per la salita. Come già detto la buona regolazione della macchina è dettata da un gioco di compromessi e l'esperienza dell'operatore gioca il ruolo fondamentale.

Elettrolita:

Per piccole lavorazioni si può utilizzare l'acqua, volendo essere raffinati acqua demineralizzata ma anche la normale acqua di rubinetto funziona egregiamente.

Per lavorazioni importanti si possono utilizzare oli vegetali come l'olio di colza o di girasole, il cherosene è un ottimo dielettrico. Vanno però considerati i problemi legati allo smaltimento di olio o carburante esausti.

Senza entrare troppo nei dettagli del funzionamento della scheda di controllo, diciamo semplicemente che la sua funzione principale è quella di tenere monitorata la tensione ai capi del GAP. Poniamo per esempio che la finestra di lavoro di 10 volt sia posizionata tramite il potenziometro nel range 20V ... 30 volt.

Se viene rilevata una tensione al GAP superiore ai 30V la scheda interpreta la cosa come una mancanza di scariche elettriche, il GAP è spento. Viene quindi inviato alla testa il comando di discesa per cercare l'innescio delle scariche.

Se la tensione al GAP rimane nel range 20 V ... 30 V significa che le scariche continuano a prodursi regolarmente per cui la testa può rimanere ferma nella sua posizione di lavoro.

Se la tensione al GAP si abbassa al di sotto dei 20 V significa che siamo prossimi ad una condizione di cortocircuito dell'elettrodo (oppure che il cortocircuito è avvenuto); per cui la scheda di controllo invia alla testa il comando di salita.

Si ritorna ora nella condizione di tensione al GAP troppo alta, il GAP è spento, per cui la testa si abbassa fino ad innescare nuovamente le scariche... E così via...

L'elemento attivo per la gestione del GAP è la testa memorizzata.

E' collegata al control box da un cavo 12*0,25mmq con una lunghezza di 2,5 mt che termina con una spina a 12 poli.



Sulla parte frontale è installata la pulsantiera per il controllo remoto rispetto al box di controllo. Qui troviamo il selettori della salita e discesa nel modo manuale, il selettori per la messa in stand-by della testa, il pulsante a fungo per lo stop di emergenza della modalità automatico, il led di segnalazione dell'intervento dei finecorsa di home point (punto di massima salita), Il led di segnalazione dell'intervento del finecorsa che regola la posizione di fine ciclo. Sul lato destro si trova il calibro che permette di verificare la profondità di lavorazione raggiunta dalla testa in ogni momento. La corsa utile della testa è di testa di 80 mm.

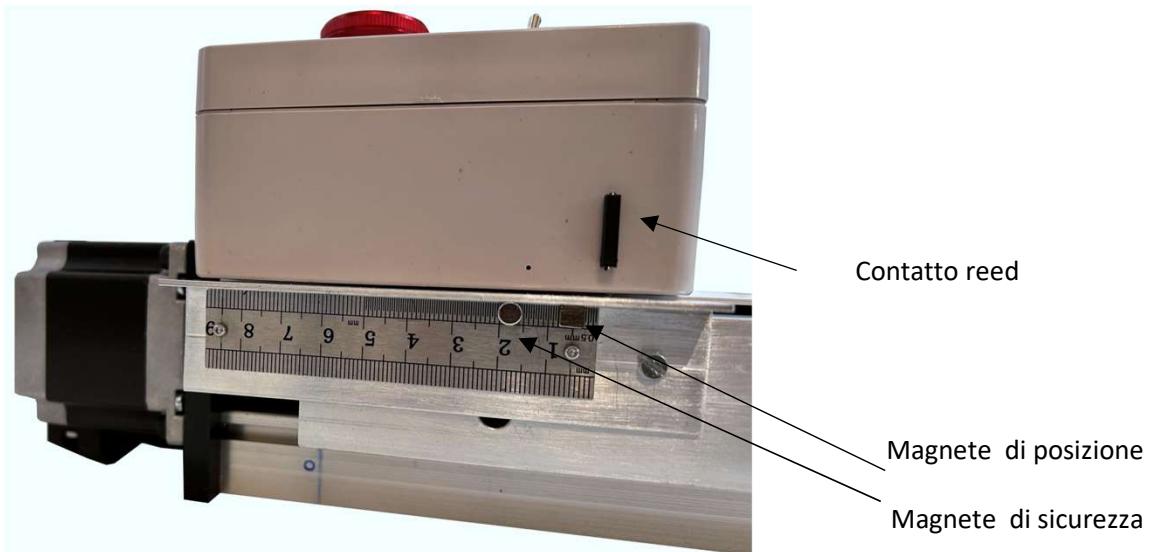


Sul lato sinistro si trova il sistema di regolazione del finecorsa di fine ciclo.

Un tubolare a sezione rettangolare collegato alla slitta della madrevite fa da supporto sia al sistema di misura, sia al mandrino porta elettrodo.

Un righello di materiale ferromagnetico è posizionato con il suo zero in modo da coincidere con la posizione di home della testa. Sul righello sono attaccati due magneti liberi di scorrere; il magnete di minore dimensione viene utilizzato per determinare con la precisione di un qualche millimetro il punto di fine ciclo, mentre il magnete di maggiori dimensioni ha la funzione di intervenire come sicurezza nel caso il contatto reed non legga il passaggio del primo magnete. Quest'ultimo genera un campo magnetico abbastanza debole in modo da influenzare il contatto reed quando si trova a brevissima distanza, e per questo motivo deve essere posizionato con molta accuratezza contro l'angolare di appoggio. Nel caso di un posizionamento errato del magnete di posizione, il magnete di emergenza, notevolmente più potente garantirà in seconda battuta l'intervento del contatto reed.

Il magnete di emergenza andrà posizionato ad almeno 8-10 mm dal magnete di posizione in modo da non influenzare il contatto reed prima del dovuto.



La posizione di home viene rilevata da un secondo contatto reed posto all'interno del box, la sua posizione è fissa.
Il magnete che lo attiva si trova sulla slitta ed anche esso ha una posizione fissa.



Pinza di collegamento
dell'alimentazione all'elettrodo

Il mandrino porta elettrodo è collegato al tubolare tramite una boccola in materiale isolante. Il cavo di collegamento dell'elettrodo dovrà essere collegato direttamente al mandrino facendo attenzione che l'alimentazione a 60Vcc non venga a contatto con il resto della struttura. E' opportuno che il cavo termini con una pinza bene isolata con dimensioni tali da potere essere agganciata direttamente sul corpo del mandrino oppure all'elettrodo se le sue dimensioni lo consentono.

Il servomotore è composto da una guida lineare da 12 mm mossa da una madrevite a ricircolo di sfere tipo CBX1605 accoppiato con una boccola a ricircolo di sfere tipo SFU1605, con diametro di 16 mm e passo di 5 mm. La madrevite è accoppiata ad un motore passo-passo NEMA 23, 2 fasi, 1,8° 200 passi/giro, 3 A, coppia 1,2 N*m.

Il driver del motore p.p. è un TB6600 ed è settato per lavorare con una corrente di 1,5 A e nel modo micro-step 1/16.

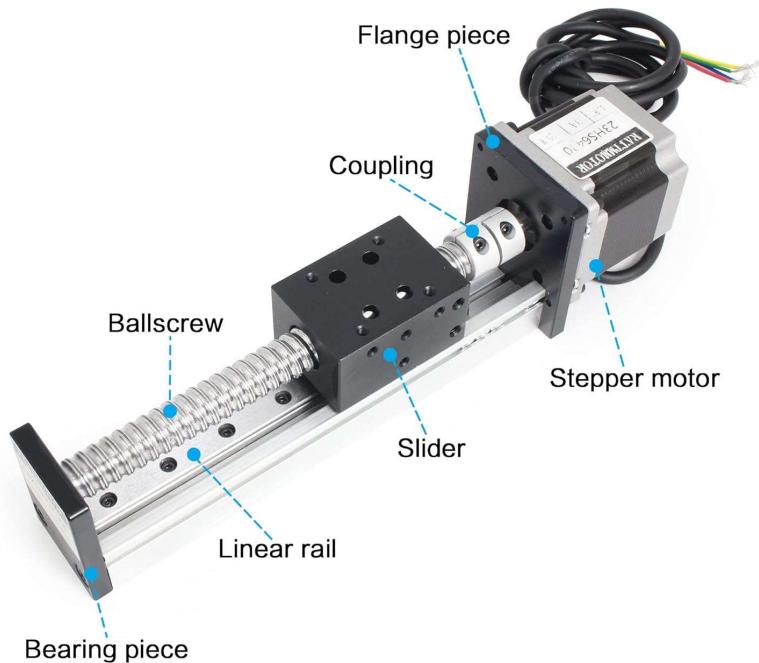
Per ogni impulso che la scheda di controllo invia al driver TB6600, la slitta della guida lineare si muove di 0,00156 mm.

Motore p.p. 200 step/giro

Avanzamento/step: $5 \text{ mm}/200 = 0,025 \text{ mm}$

Impostazione driver 1/16 step

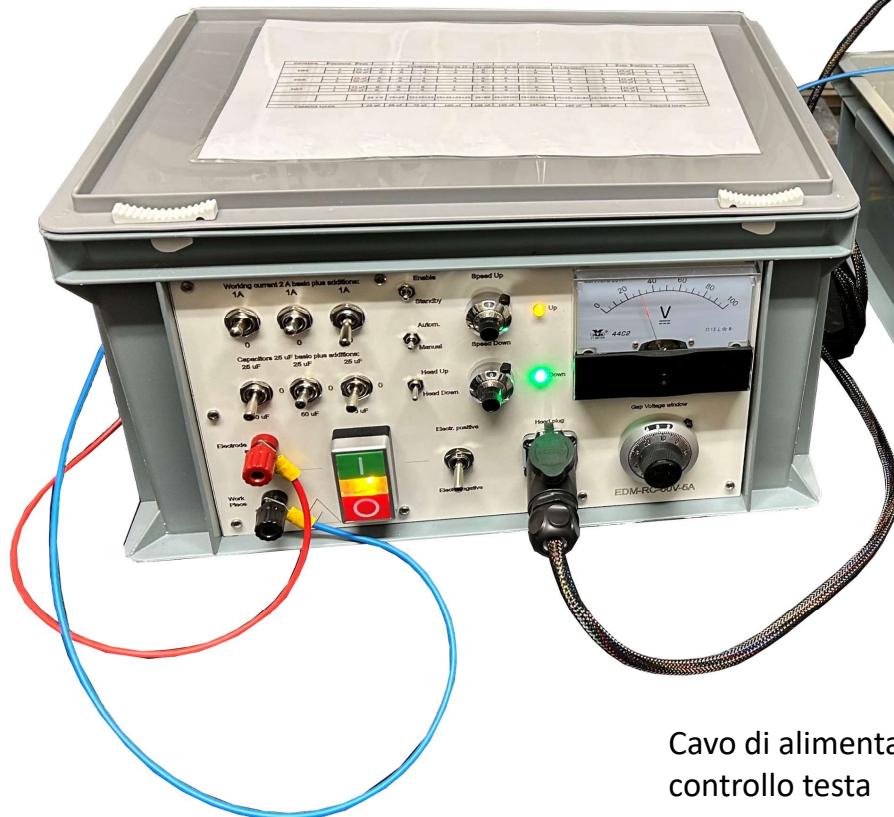
Risoluzione finale $0,025 / 16 = 0,000156 \text{ mm}$



Allestimento completo del sistema di elettro erosione

Testa motorizzata

Control box



Vasca con elettrolita

Cavo di alimentazione e controllo testa

Cavi di alimentazione elettrodo e massa pezzo in lavorazione

Alimentazione elettrodo

Alimentazione massa



L'elettrolita deve coprire abbondantemente l'area sottoposta a lavorazione.

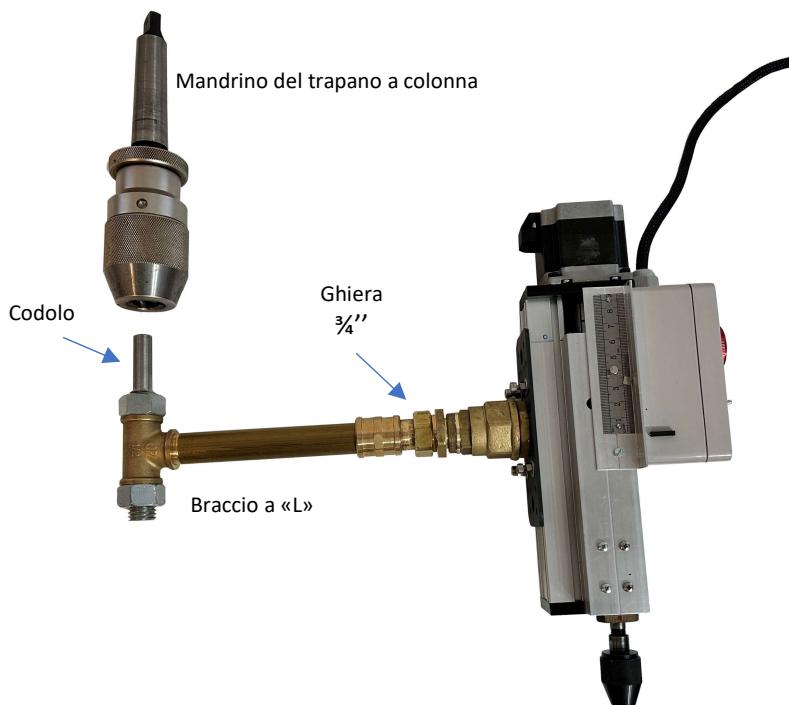
Per lavorazioni importanti è opportuno dotare il sistema di una pompa di circolazione abbinata ad un apparato di filtraggio in modo da mantenere l'elettrolita libero da scorie e tramite il passaggio attraverso un radiatore consentirne il raffreddamento.

La testa per potere essere utilizzata ha necessità di essere connessa ad un supporto. A questo scopo è stata dotata di una flangia abbinata ad un bocchettone filettato, al quale possono essere connessi vari accessori atti a soddisfare le svariate esigenze. Se ad esempio la lavorazione prevede l'esecuzione di una foratura perfettamente ortogonale con la faccia del pezzo, è senz'altro conveniente sfruttare le possibilità offerte dal trapano a colonna dell'officina.



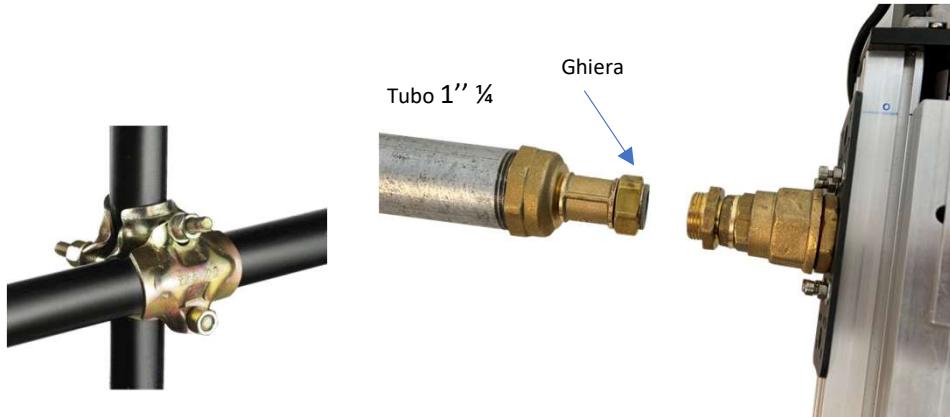
Allo scopo è stato previsto un braccio a forma di «L»; nella parte corta è presente il codolo che va inserito nel mandrino del trapano a colonna e all'estremità opposta una ghiera consente di connettere la testa motorizzata. La presenza dell'attacco a ghiera – bocchettone consente alla testa di ruotare sul punto di attacco, rendendo possibile l'esecuzione di lavorazioni con diversi angoli di avanzamento dell'utensile.

Sistema di attacco per trapano a colonna



Altre esigenze potrebbero richiedere un tipo di supporto che si possa adattare all'esecuzione di lavorazioni al di fuori dell'officina, come ad esempio direttamente su di un macchinario agricolo. Per fare fronte a maggior parte delle esigenze è stato previsto un attacco per cos' dire universale; è costituito da un giunto adattatore che da un lato ha la ghiera chi si avvita sul bocchettone della testa motorizzata e dall'altro lato termina con un manicotto da un $1\frac{1}{4}$ " al quale può essere avvitato un tubo per impianti idraulici di pari diametro. Alla misura del tubo su adattano perfettamente i morsetti per impalcature edili, quindi combinando opportunamente vari tubi e morsetti si possono realizzare i più disparati tipi di supporti.

Sistema di attacco universale



Adattatore universale



Tecnologia basata su EDM. [estratto da Wikipedia]

L'elettroerosione è una tecnologia di lavorazione in corso di continua evoluzione basata sulla possibilità di modificare la materia mediante scariche elettriche. È utilizzabile solo su ottimi conduttori, essenzialmente i metalli.

Le macchine utensili realizzate per eseguire questo tipo di lavorazione vengono chiamate 'macchine per elettroerosione', o in inglese EDM (Electrical Discharge Machining).

Fu inventata casualmente dai coniugi sovietici Lazarenko nel 1943, durante esperimenti sull'usura dei contatti elettrici: immersendoli in bagno d'olio per diminuirne l'usura dovuta alle scintille, ottennero l'effetto contrario. L'elettroerosione ha subito un forte impulso solo con lo sviluppo dell'elettronica. Per le sue caratteristiche peculiari, oggi è una tecnologia di uso comune nell'industria, e addirittura necessaria nella produzione di stampi (in particolare modo per componenti in plastica), dove la presenza di cavità profonde e strette rende difficoltosa e a volte impossibile, la lavorazione con tecniche di fresatura convenzionali.

Nel corso degli anni i processi si divisero tra elettroerosione a tuffo (EDM) ed elettroerosione a filo (WEDM). Entrambe le tecniche sfruttano lo stesso principio applicato diversamente; la prima consiste nell'utilizzo di un negativo (in materiale conduttivo) che viene ripetutamente portato a contatto (nello stesso punto) con la superficie da erodere. Nella seconda invece un filo in materiale conduttivo viene teso attraverso un foro nel materiale, per poi essere mosso lentamente tagliando lo stesso con un approccio simile al taglio della schiuma espansa mediante filo riscaldato.

Recentemente i processi sono in continua evoluzione sulla base di varianti che tendono a rendere più performanti e flessibili le lavorazioni. Altri elementi critici risultano le reazioni dovute a imperfezioni di densità del metallo, che provocano rotture, nonché a deboli ma rilevanti varianti di tensione che generano problemi di regolarità delle superfici.

La prospettiva di sviluppo della elettroerosione è il suo impiego in lavorazioni che, con difficoltà e/o costi superiori, vengono realizzate con tecniche diverse ma meno precise.

Caratteristiche della lavorazione

Le principali caratteristiche della lavorazione per elettroerosione sono:

- Possibilità di lavorare metalli molto duri (acciai speciali, acciai rapidi, metalli duri, ecc...), o induriti con trattamenti termici o chimici (temprati, carburati, ecc...). Infatti, la durezza del materiale da lavorare rallenta la velocità di erosione a parità di energia utilizzata, ma a differenza delle tecniche convenzionali, non richiede che l'utensile (negativo o filo) abbiano una durezza e una resistenza meccanica maggiori del materiale lavorato.
- Possibilità di realizzare tagli e cavità impossibili per le tecniche convenzionali. La tecnica sfrutta un processo elettro-chimico, e non meccanico, infatti in assenza di rotazione l'utensile da taglio non ha più la costrizione di essere assialmente simmetrico. È possibile ottenere spigoli netti, creare nervature e cavità con forme o profili di grande complessità.
- Velocità di lavorazione inferiore rispetto alle altre tecnologie ad asportazione di truciolo.
- Elevata usura relativa dell'utensile. Un valore tipico può essere 1-5%; cioè l'usura di 1-5 mm³ di utensile ogni 100 mm³ di materiale asportato.
- Rugosità più o meno pronunciata, a seconda del grado di finitura, delle superfici lavorate. Questa è dovuta alla creazione di micro-crateri per effetto dell'azione elettroerosiva

Funzionamento.

Il processo consiste nell'avvicinamento dell'utensile da taglio (detto elettrodo) al materiale da lavorare, il tutto all'interno di un dielettrico liquido. L'utensile viene alimentato con un potenziale negativo rispetto al materiale lavorato. Quando la distanza dell'utensile dal materiale è sufficientemente ridotta da rompere il dielettrico e far fluire la corrente attraverso esso, gli elettroni generano un canale di plasma, detto arco, che fonde la superficie del materiale.

La scelta del materiale dell'elettrodo rispetto al materiale lavorato e dei parametri elettrici (corrente, tensione, forme d'onda) sono fondamentali per minimizzare l'erosione dell'utensile da taglio (usura) rispetto al materiale lavorato. L'utensile viene fatto avanzare continuamente al procedere dell'erosione mantenendo sempre una distanza dal materiale lavorato tale da lasciare uno strato sufficiente di dielettrico in cui sospendere il materiale asportato. Il contatto tra i due metalli va evitato perché produrrebbe una saldatura, anziché l'erosione desiderata.

Eccezionalmente può essere applicata una polarità invertita rispetto a quanto precedentemente detto: ovvero applicare all'elettrodo una polarità positiva rispetto al pezzo. Questo avviene per lavorazioni particolari, come accoppiamenti di semistampi, dove l'erosione viene equiripartita tra i due elementi, o forature tramite elettroerosione, dove l'elettrodo viene totalmente consumato.

Nella lavorazione non vengono creati normali trucioli: i residui della lavorazione (sfridi) assumono l'aspetto di polvere che si disperde nel dielettrico.

La presenza di un dielettrico è fondamentale per la funzionalità del processo e ha diversi fini:

- Permette il trasporto e la sospensione degli sfridi, asportando di fatto il materiale.
- Ha un elevato contenuto di ioni, necessari per la formazione dell'arco.
- Disperde il calore prodotto dal processo.

Il processo descritto sopra non è applicabile senza dispositivi elettronici di controllo. Infatti la sola applicazione della tensione non è sufficiente ad asportare il materiale in maniera continua e causerebbe soltanto la fusione delle superfici. Al fine di controllare tutti i parametri dell'energia applicata i dispositivi di controllo prendono in considerazione diversi fattori quali resistenza e capacità percepiti tra utensile e materiale lavorato. Inoltre questi controllori non applicano una tensione continua bensì intermittente (ad impulsi con sistema RC oppure ad onda quadra). I momenti di spegnimento dell'arco permettono di rilassare le aree surriscaldate dal plasma asportando il materiale fuso. I parametri controllati includono:

- tensione d'innescio; da alcune decine ad alcune centinaia di volt.
- polarità; normalmente l'utensile è negativo ed il materiale lavorato positivo.
- corrente massima; compresa tra 1 e 500 ampere.
- durata dell'impulso per sistemi ad onda quadra; compresa tra 1 microsecondo e 2 millisecondi.
- pausa tra gli impulsi per sistemi ad onda quadra, compresa tra 1 e 30 micro-secondi.

[NDR:

Per usi professionali vengono utilizzati sistemi computerizzati nei quali via software vengono controllati tutti i parametri ed i sistemi basati su circuito RC appartengono oramai alla storia.

Per usi non professionali i sistemi RC sono senz'altro più economici e rimangono comunque molto affidabili, tanto che ove non siano necessarie lavorazioni e finiture di alta precisione e per lavori di piccola entità mantengono pienamente la loro validità.]

Principio fisico

L'elettroerosione lavora sulla capacità termomeccanica delle scariche elettriche di erodere i materiali.

L'azione erosiva delle scariche si può dividere in fasi:

1. Applicazione tra elettrodo e pezzo di una forte tensione. In questa fase si crea un forte campo elettrico che è massimo tra i due punti a minor distanza elettrodo/pezzo.
2. Rottura del dielettrico e apertura di un canale di scarica. In questa fase il forte campo elettrico accelera alcuni elettroni del pezzo che attraversano il dielettrico, questo passaggio genera un effetto valanga che rompe l'isolamento del dielettrico proprio in corrispondenza del punto dove il campo elettrico è più elevato. Si crea così un canale a bassa resistenza dove la corrente elettrica può passare.
3. Allargamento del canale di scarica e fusione del materiale. L'urto degli elettroni accelerati con le molecole di dielettrico genera ulteriori elettroni liberi e ioni positivi che fungono da portatori di carica e vengono accelerati dal campo elettrico; conseguentemente si crea un canale di plasma ad altissima temperatura (migliaia di gradi) in grado di condurre molta corrente elettrica. Con il persistere della corrente di scarica, il canale tende ad allargarsi intorno al punto iniziale. Le aree dell'elettrodo e del pezzo a diretto contatto con il canale di plasma, sottoposte al bombardamento dei portatori di carica e alle alte temperature del canale, si fondono creando dei piccoli crateri di materiale fuso.
4. Interruzione della scarica e implosione del canale di scarica. Interrompendo la corrente il canale di plasma, non più alimentato da fonti di energia esterne, implode.
5. Espulsione del materiale dal cratere. Venendo improvvisamente a mancare la pressione sulla superficie del cratere, il materiale fuso viene risucchiato fuori, lasciando il cratere vuoto. Il materiale fuoriuscito si raffredda, solidificandosi in minuscole palline (sfridi).

Applicazioni

L'elettroerosione si può dividere in sottotipi a seconda dell'applicazione:

- elettroerosione a tuffo; in questa applicazione la lavorazione ha come scopo principale lavorare il pezzo facendogli assumere una forma complementare rispetto all'elettrodo.

Il ciclo di lavorazione è diviso in due fasi:

1. creazione di un elettrodo di forma 'negativa' rispetto alla forma della lavorazione che si vuole ottenere;
 2. elettroerosione del pezzo con l'elettrodo precedentemente creato, ottenendo così in 'positivo' la forma voluta.
- elettroerosione a filo; in questa applicazione, un filo conduttore teso è usato come elettrodo per tagliare o profilare il pezzo da lavorare.

Il filo (immagazzinato in una bobina) viene cambiato di continuo durante la lavorazione, in quanto, essendo sottoposto all'usura delle scariche e allo stress di dilatazione, finirebbe per spezzarsi spesso, interrompendo la lavorazione.

- foratura per elettroerosione; in questa applicazione un tubo viene usato come elettrodo per forare il pezzo.

Vengono usati tubi, generalmente di piccolo diametro, in quanto attraverso essi viene pompato del dielettrico necessario per asportare gli sfridi dal fondo della foratura.

- molatura per elettroerosione; in questa applicazione una mola di materiale conduttore erode il pezzo, in modo analogo ad una mola ad abrasione.

Un esempio d'uso di questo tipo di tecnica è quello dell'affilatura di lame con denti di Widia o diamante sinterizzato, materiali di cui la molatura con tecniche abrasive tradizionali è difficoltosa e costosa.

Elettrodi

Uno degli "attori" principali della lavorazione per elettroerosione è l'elettrodo. Nella lavorazione "a tuffo" il risultato della medesima è un negativo della forma dell'elettrodo; mentre nella lavorazione "a filo", l'elettrodo si comporta come un seghetto, tagliando il pezzo.

Perché si possa fare una lavorazione utile, è necessario ridurre l'usura al minimo. Per far ciò, oltre al controllo dei parametri elettrici, è necessario partire da una corretta scelta del materiale dell'elettrodo.

Materiale per elettrodi EDM

Per la lavorazione "a tuffo" il materiale deve:

- resistere alle scariche;
- essere facilmente lavorabile;
- avere costi contenuti.

Gli ultimi due aspetti sono particolarmente importanti nella lavorazione a tuffo in quanto la lavorazione che si vuole ottenere richiede la realizzazione di una sua esatta copia-elettrodo in negativo. In casi estremi, con realizzazioni di stampi per plance o scocche plastiche, potrebbe essere necessario realizzare elettrodi sagomati e/o alettati di centinaia di chili.

L'esperienza ha portato alla diffusione di due tipi di materiale: la grafite e il rame.

La grafite resiste bene alle scariche per via dell'alto punto di fusione, è relativamente facile da lavorare e costa poco. Di contro la grafite durante la lavorazione di parti sottili (alette, nervature, ecc..) tende a scheggiarsi e gli spigoli tendono ad arrotondarsi, inoltre le scariche tendono a rovinarne la superficie, impedendo di realizzare superfici ben finite, cioè con bassa rugosità. Inoltre la lavorazione della grafite genera un pulviscolo che, se non viene opportunamente schermato e abbattuto, può insinuarsi negli organi in movimento della macchina utensile, in genere nelle guide, e causarne il rapido deterioramento.

Le nuove grafiti a bassa porosità (grafite fine) hanno ampliato notevolmente il campo di applicazione degli elettrodi in grafite, diventando competitive con il rame anche per lavori di precisione e bassa rugosità grazie a facilità di costruzione degli elettrodi, minor deformazione termica durante l'erosione, maggiore asportazione.

Anche il rame resiste abbastanza bene alle scariche perché la sua alta conducibilità termica tende a dissipare il calore delle scariche. Si può lavorare molto facilmente, permettendo di realizzare particolari estremamente fini, e le scariche rovinano poco la sua superficie, permettendo lavorazioni particolarmente rifinite, in qualche caso sino alla lucidatura. Di contro, il rame non resiste altrettanto bene alle alte correnti di scarica tipiche della lavorazione di sgrossatura ed è un materiale costoso.

Quando possibile, si consiglia così di realizzare due elettrodi: un elettrodo di grafite per le lavorazioni di "sgrossatura" e un elettrodo in rame per la lavorazione di "finitura".