

EDM: SISTEMI A CONFRONTO

Una tecnologia in rapida evoluzione: differenti soluzioni, dai materiali alle trasmissioni, dai sistemi d'asportazione a quelli di lavaggio, sono proposte dai maggiori costruttori nelle loro più recenti realizzazioni

di Giuseppe Rotondo

Le macchine per elettroerosione stanno diventando d'uso comune, anche presso officine con meno di 20 dipendenti: per la loro capacità di rendere concrete le più impegnative esigenze, nelle costruzioni di stampi di tranciatura, di piegatura e a iniezione, come nelle produzioni in grandi serie d'alta precisione. I materiali, lavorabili indipendentemente dalla loro durezza, vanno dagli acciai alle

leghe leggere, dalla grafite alla ceramica. Sono permesse risoluzioni di $0,1 \mu\text{m}$, si raggiungono precisioni di $2 \mu\text{m}$ e, non di rado, le rugosità superficiali sono equivalenti alla levigatura, alla lappatura e alla lucidatura. Le elettroerosioni lavorano in assenza di sforzi meccanici e, perciò, non richiedono bloccaggi complessi né sequenze di cambi utensile e di cambi macchina. Un grosso vantaggio, tale da compensare la maggior lentezza operativa rispetto alle macchine ad asportazione di truciolo, deriva inoltre dalla maggior possibilità d'eseguire lavorazioni non presidiate, 24 ore su 24.

Soprattutto poi le macchine per elettroerosione possono effettuare lavorazioni non eseguibili con le fresatrici e con i centri di lavoro. Questa distinzione dei ruoli è diventata ancor più chiara con l'avvento delle fresature ad alta velocità. Su stampi di grandi dimensioni già fresati al 90%, con l'elettroerosione a tuffo si possono completare cave piccole e complesse, spigoli vivi, sottosquadri e altri dettagli geometrici.

Quanto alle macchine a filo, un tempo



La macchina d'elettroerosione a filo Agiecut Progress, della Agie.



La macchina d'elettroerosione a filo Robofil 2030SI-TW, della Charmilles Technologies.

riservate agli stampisti, sono ora offerte a costi minori e trovano impiego anche nelle attrezzerie. I profili da realizzare sono prima memorizzati informaticamente e poi inoltrati, sotto forma di codici comprensibili, alla macchina. Questa muove il filo con le guide superiore e inferiore, da un foro o dal profilo esterno.

Mentre fino a

l'applicazione di grandi bracci di presa, che altrimenti dovrebbero deviare per superare l'ostacolo costituito dalle vasche fisse. Nelle macchine a tuffo, poi, le vasche a scomparsa sono abbinate alla tavola fissa: a muoversi non è il pezzo, il cui peso è variabile e spesso notevole, ma la testa con gli elettrodi, molto più leggera. Elettrodi di rame o di grafite? A risultati di miglior qualità si presta il rame, ma, di fatto, l'impiego della grafite ha avuto negli ultimi anni un incremento

esponenziale. Questo per la sua leggerezza, per la sua facilità di lavorazione con fresatrici opportunamente predisposte, per minori usure in sgrossatura, per migliori modi di controllo della scarica, tali da rendere assai remota l'eventualità di bruciature del pezzo. Con gli elettrodi in grafite è però importante lavorare in officina con

macchine ad asportazione

che non disperdano le polveri.

Le lavorazioni avvengono con un liquido isolante, acqua deionizzata o liquido contenente olio, che, sottoposto a differenze di potenziale sufficientemente elevate, oltre una certa soglia innesca un canale di scarica che surriscalda il pezzo e ne asporta piccole quantità. Importanti sono quindi i sistemi adoperati per rigenerare e filtrare questi liquidi dai residui di lavorazione: si va dai filtri a farina fossile a quelli a cartuccia usa e getta, dai filtri rinnovabili a sistemi di filtraggio ecologico ad aria. A tutt'oggi, quindi, non si può dire che sia emersa l'affermazione univoca della tipologia ottimale.

La macchina d'elettroerosione a filo Robofil 690, della Charmilles Technologies.



qualche anno fa l'impiego era economicamente conveniente solo per stampi costosi, ultimamente anche qui è esteso alle produzioni di serie.

L'EVOLUZIONE NELLE CONFIGURAZIONI E NEI MATERIALI

Sia nei materiali sia nelle configurazioni strutturali, i maggiori costruttori propongono soluzioni non univoche. Quali le principali tendenze?

Grande praticità nel piazzare i pezzi, e quindi risparmi di tempo, è data dalle vasche mobili, 'a scomparsa' sotto il piano di staffaggio. Questa soluzione favorisce

La macchina d'elettroerosione a filo AE 300, della Ona.



Nelle macchine d'elettroerosione a filo, recentemente impiegate anche per pezzi di grandi dimensioni, sono possibili lavorazioni a immersione, cioè a bagno d'acqua deionizzata, o ad aspersione, con l'ausilio di un getto. Le prime sono più precise: l'aspersione può causare un 'effetto botte', tale da compromettere le precisioni di rettilineità nel taglio di pezzi lunghi.

Il filo può essere d'ottone o di rame ricoperto: quest'ultimo permette velocità di taglio un po' più alte, ma è sensibile la sua maggior incidenza sui costi, anche perché una volta usati i fili non possono più essere riutilizzati. In caso di rottura il reinfilaggio è automatico e la tendenza è a utilizzare fili sempre più sottili: attualmente si è arrivati a 0,03 mm di diametro.

PRECISIONE E AUTOMAZIONE INTEGRATA

Alte precisioni e alte produttività caratterizzano la produzione di due case svizzere che, pur operando separate, appartengono a un unico Gruppo: la Agie e la Charmilles Technologies.

Nell'elettroerosione a tuffo la Agie persegue l'obiettivo d'aumentare la capacità d'asportazione ottimizzando la complessa interazione tra caratteristiche meccaniche, gestione del generatore d'impulsi e regolazione dell'intervallo tra gli elettrodi. La capacità d'asportazione è stata fortemente aumentata con il nuovo

generatore brevettato Hyperspark: il rendimento di ogni singola scarica, che di solito non arriva al 10%, è stato migliorato e la velocità del procedimento quasi raddoppiata. Hyperspark è applicato sulle nuove macchine Agietron Impact 2 e 3 e Agietron Exact 2 e 3, tutte con assi X, Y, Z

La macchina d'elettroerosione a tuffo AQ55L, della Sodick.



e C e capaci di produrre pezzi fino a rugosità Ra di 0,2 µm. Pioniera nell'elettroerosione a filo, la Agie continua ad affinare questa tecnologia. Anche qui, secondo la casa ticinese, maggiori produttività e minori costi possono derivare dall'amalgama di tutte le funzioni: dalla messa a punto alla programmazione, dalla riduzione dei tempi ausiliari all'ottimizzazione delle tecniche di taglio. La più recente realizzazione è la linea Agiecut Progress: un nuovo modulo Power, integrato al generatore IPG delle precedenti macchine Agiecut Vertex, e, soprattutto, l'implementazione della tecnologia eCut, hanno permesso di superare la barriera di velocità di taglio di 500 mm²/min pur con finiture d'alta precisione, esenti da ulteriori lavorazioni di ripresa.

Con eCut, adoperando un filo di 0,15 mm di diametro, sono segnalate diminuzioni del 60% dei consumi del filo stesso e del 40% di quelli di filtro e di resina di deionizzazione. Ciò è stato ottenuto adeguando gli impulsi al diametro del filo con semiconduttori di nuovo tipo, adatti all'erogazione d'impulsi precisi ad alte frequenze.

L'automazione integrata, e quindi la possibilità d'eseguire produzioni di serie, caratterizza le Roboform e le Robofil, dell'altra casa svizzera, la Charmilles Technologies. Robot integrati di cambio pallet e di cambio elettrodi, prodotti dalla stessa Charmilles, permettono, sia con le macchine a tuffo sia a filo, lavorazioni non presidiate che possono proseguire anche per un paio di settimane. I nuovi CNC sono appositamente concepiti e, in più, le macchine possono essere sorvegliate telefonicamente: all'insorgere di un problema l'elettroerosione si arresta e il CNC invia un SMS all'operatore, con l'indicazione del motivo del fermo.

Le tecnologie sono sempre più affinate e adeguate alle applicazioni: 'Superiamo i limiti delle EDM' è lo slogan con cui la Charmilles sintetizza l'obiettivo di raggiungere confini sempre più avanzati. Ciò nonostante il funzionamento delle macchine non richiede personale dotato di particolari competenze: per arrivare subito al risultato ottimale basta seguire semplici istruzioni, indicate dalla macchina stessa. Gli elettrodi, ad esempio, sono automaticamente sottodimensionati per tener conto dell'intervallo d'innescò della scintilla, che, a sua volta, è in funzione del tipo di materiale da lavorare: rame, alluminio, acciaio.

In particolare le nuove macchine a tuffo Roboform 350 e Roboform 550 sono dotate della nuova interfaccia di comando DPControl, mentre la Robofil 2030SI-TW, il primo modello a doppio filo, con

L'IPERCONTROLLO DEGLI IMPULSI

Nelle macchine a tuffo velocità d'asportazione raddoppiate sono ottenute dalla Agie non già aumentando le velocità d'azionamento degli assi ma intervenendo direttamente nel procedimento fisico elettroerosivo, con il nuovo generatore d'impulsi Hyperspark. Di solito, passando dalla sgrossatura alla finitura, si adeguano i parametri per ridurre gradualmente l'energia dell'impulso: diminuiscono in tal modo la superficie del pezzo influenzata termicamente e l'usura dell'elettrodo. Con Hyperspark l'ottimizzazione è ottenuta aumentando l'energia di scarica degli impulsi erosivi e spostando verso l'alto la curva caratteristica di velocità in funzione dell'intervallo: ciò significa erodere più rapidamente a parità di larghezza d'intervallo, di rugosità superficiale e di usura.

Nell'elettroerosione a ogni impulso si producono centinaia di migliaia di scariche elettriche al secondo e si forma nel pezzo un minuscolo cratere, la cui crescita ha un comportamento asintotico: ben presto ristagna, anche se l'impulso persiste. È quindi opportuno avviare immediatamente un ulteriore impulso. Con Hyperspark il numero di scariche nell'unità di tempo, e quindi l'asportazione, sono aumentate tenendo conto della situazione macroscopica dell'intervallo e della geometria locale nel campo di scarica.

Nella fase di scarica, poi, il canale al plasma raggiunge temperature e pressioni estremamente elevate. Nella successiva fase, il disinserimento della corrente provoca una brusca caduta di pressione, l'evaporazione e l'espulsione del materiale surriscaldato: quanto più improvvisa è la scomparsa d'energia, tanto migliore è l'espulsione del materiale dal cratere. Con Hyperspark tale effetto è esaltato aumentando brevemente l'intensità di corrente prima d'interrompere l'impulso. L'idea non è nuova, la novità sta nel fatto che il momento in cui l'aumento si verifica è scelto in modo da non causare conseguenze su rugosità, usura e gap.

Questa triplice strategia di Hyperspark, di rilevamento asintotico della crescita del cratere, di aumento dell'intensità di corrente e di brusca interruzione dell'impulso, ha permesso aumenti di produttività normalmente compresi tra il 25 e il 40% e fino al 100% nel caso di pezzi prefresati, poco soggetti a problemi di lavaggio.

L'opzione Micro-Cut favorisce applicazioni in forte crescita, quali la produzione di micropezzi. Essa, per grandi precisioni, passa automaticamente da sgrossature con filo di maggior diametro a finiture con filo più sottile. Lavorazioni di pezzi di grandi dimensioni, fino a 1300x1000x400 mm, sono invece possibili con la Robofil 690 e produzioni molto automatizzate con la Robofil 440cc, munita del robot QCRw. Recentemente la Charmilles ha presentato un'unità di produzione integrata, comprendente una Roboform 550, una di Agie e una della Mikron: le tre macchine, tutte connesse a un robot della 3R, sono gestite contemporaneamente, dalla produzione dell'elettrodo

all'elettroerosione, fino al magazzino di pallet e utensili.

SISTEMI INTEGRATI E PEZZI LUCIDATI

Finiture molto spinte, equivalenti alla lucidatura a mano, caratterizzano anche le macchine a tuffo della tedesca Makino. Il risultato è particolarmente evidente nelle esecuzioni di piccoli pezzi, anche forme di grosse dimensioni sono tuttavia erose con grandi precisioni, pur con elettrodi di grafite. Le macchine, tutte molto rigide, rigorosamente a tavola fissa e con vasca a scomparsa, permettono lavorazioni stabili e finiture spinte in tempi rapidi grazie a scariche a microimpulsi, al controllo dell'intervallo con un sistema retroazionato ad alta risoluzione e all'aggiunta di un additivo al dielettrico. La serie EDNC effettua elettroerosioni a tuffo anche di materiali difficilmente lavorabili, quali le leghe d'alluminio, con elevati livelli d'automazione. Dotazioni speciali rendono anche possibili forature di piccoli diametri. Le macchine, completamente autonome, integrano sistemi automatici di cambio elettrodi da 8 a 42 posti e manipolatori in grado di movimentare elettrodi e pallet. Sono anche possibili magazzini esterni a circa 300 posti, capaci d'interagire con i centri di lavoro della stessa Makino, per fresature d'elettrodi e pezzi e per trattamenti d'elettroerosione.

Quanto all'elettroerosione a filo, la Makino impiega fili in ottone alle stesse velocità di quelli in rame ricoperto. Le macchine di gamma alta, in ambienti senza sbalzi termici, permettono precisioni di 2,5 µm. Recentemente è stata introdotta una gamma più economica, con vasca non a scomparsa e con tavola a croce, di precisioni leggermente minori, pari a 5÷10 µm.

La macchina d'elettroerosione a filo AP 450 L, della Sodick.



UN SOFTWARE PER LA PRODUZIONE INTEGRATA

Un software per la produzione flessibile è Sigma, messo a punto dal Gruppo Agie-Charms per integrare macchine utensili di Agie, Charmilles, Mikron, nonché robot e computer principale di sistemi della 3R. Sigma elabora e gestisce in continuazione i dati relativi agli ordini, ai programmi a CN e ai pezzi, secondo le istruzioni impartite da programmi e dall'officina. La novità è che sono ora raccolti ed elaborati automaticamente i dati provenienti da una macchina di misura, per essere convenientemente utilizzati nella lavorazione successiva.

Sigma può monitorare e comandare un'intera catena di procedimenti, comprendente varie tecnologie di lavorazione. È prevista anche una versione iniziale, Sigma Starter, gradualmente ampliabile con altri componenti, come scanner di identificazione e stazioni di lavoro portatili, fino a pervenire a una cella di produzione completamente automatizzata.

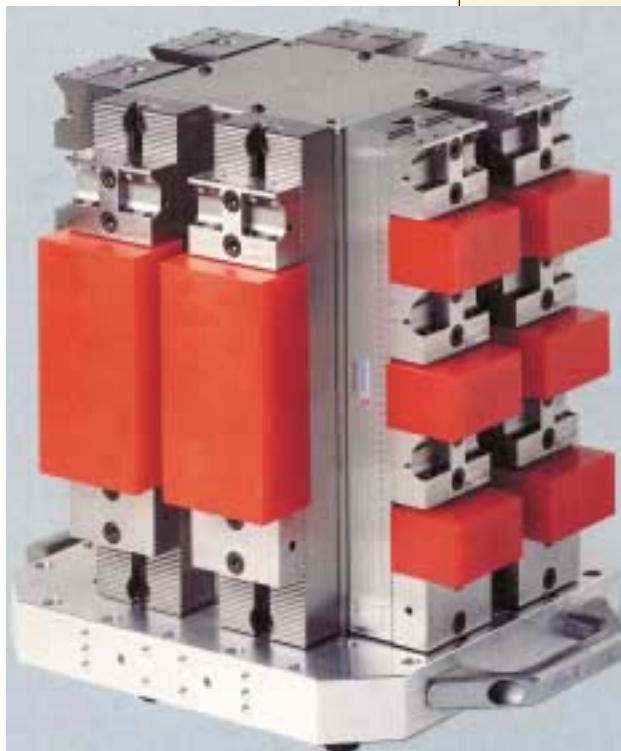
Un esempio di macchine a filo della Makino per pezzi di grandi dimensioni è dato dalla U86, della serie U, con struttura in ghisa. Corse X, Y e Z di 800, 600 e 320 mm la rendono adatta a grossi stampi trancia e a stampi per materie plastiche. Tutte le macchine della Makino, sia a tuffo sia a filo, sono concepite per lavorazioni non presidiate, 24 ore su 24: i posizionamenti dei pezzi e quelli degli elettrodi sono verificati e gestiti elettronicamente con microprocessori. Anche la spagnola ONA, con posizioni di preminenza nelle lavorazioni di pezzi di grandi dimensioni, applica, sulle macchine a tuffo DB 300, nuovi modi operativi basati su impulsi ad alta velocità. Si evitano in tal modo, nelle realizzazioni di nervature profonde e di scanalature, gli utilizzi delle lance di lavaggio laterali e, quindi, le variazioni di forma causate dal flusso erogato dalle lance nella cavità erosa. Si

tratta di macchine a 4 assi CNC simultanei X, Y, Z e C, con vasche a scomparsa. Nelle macchine a filo, novità della ONA è la AE 300, con i 5 assi, X, Y, Z, U e V simultanei. La tavola d'ancoraggio dei pezzi è fissa, perciò il peso si scarica direttamente sul telaio della macchina. Il basamento, a sua volta, è di forma triangolare non elettrosaldato, vincolato al suolo solo su 3 punti d'appoggio. Sia le macchine a tuffo sia a filo dispongono di un CNC con sistema esperto, della stessa ONA, ora ancor più potenziato e collegabile a Internet, per l'invio di programmi tramite la posta elettronica. Su nuove tecnologie elettroniche e informatiche punta pure la giapponese Mitsubishi Electric. Essa ha applicato un CNC-PC a 64 bit alle sue nuove macchine a tuffo Serie EA, con integrate le molteplici funzioni di lavorazione DynaTech. In particolare la nuova serie dispone di vari sistemi: il software di programmazione a intelligenza artificiale E.S.P.E.R. II, che sceglie automaticamente i parametri di lavorazione, il sistema di controllo della scarica Fuzzy Pro Plus e la funzione brevettata Orbit Pro. Quest'ultima guida il movimento dell'elettrodo, così da minimizzare le irregolarità e le condizioni di instabilità dell'intervallo. Si ottengono finiture uniformi, prossime alla lucidatura, sia sulle superfici laterali sia su quella superiore del pezzo. Il modello EA 12D, con elettrodo fino a 50 kg e con corse secondo X, Y e Z fino a 500, 350 e 300 mm, può lavorare pezzi di peso massimo fino a 700 kg. Nelle macchine d'elettroerosione a filo la

SISTEMI DI SERRAGGIO PER L'EDM

Nata con l'obiettivo d'automatizzare l'utensileria d'elettroerosione, la svizzera Erowa, con i suoi dispositivi di serraggio e con le sue periferiche hardware e software per macchine a tuffo e a filo, promette il raggiungimento di 6000 ore di produzione all'anno con un'una sola macchina e in un solo turno non presidiato. Ai fini dell'automazione tutti i pezzi e gli elettrodi, con le impostazioni e i programmi, possono essere predisposti esternamente alle macchine. Con sistemi e vie di comunicazione integrati si realizza poi un flusso di comunicazioni che evita qualsiasi possibilità d'errore.

Per le macchine a tuffo sono della Erowa il sistema di serraggio dei pezzi ClampSet e quello di serraggio di elettrodi ITS, comprendente mandrino e portaelettrodi. Per la palettizzazione d'impianti d'elettroerosione a filo un equipaggiamento di base è UnoSet: adatto a qualsiasi macchina, si può caricare manualmente o automaticamente, con EasyChange, EasyHand o Robot, della stessa Erowa.



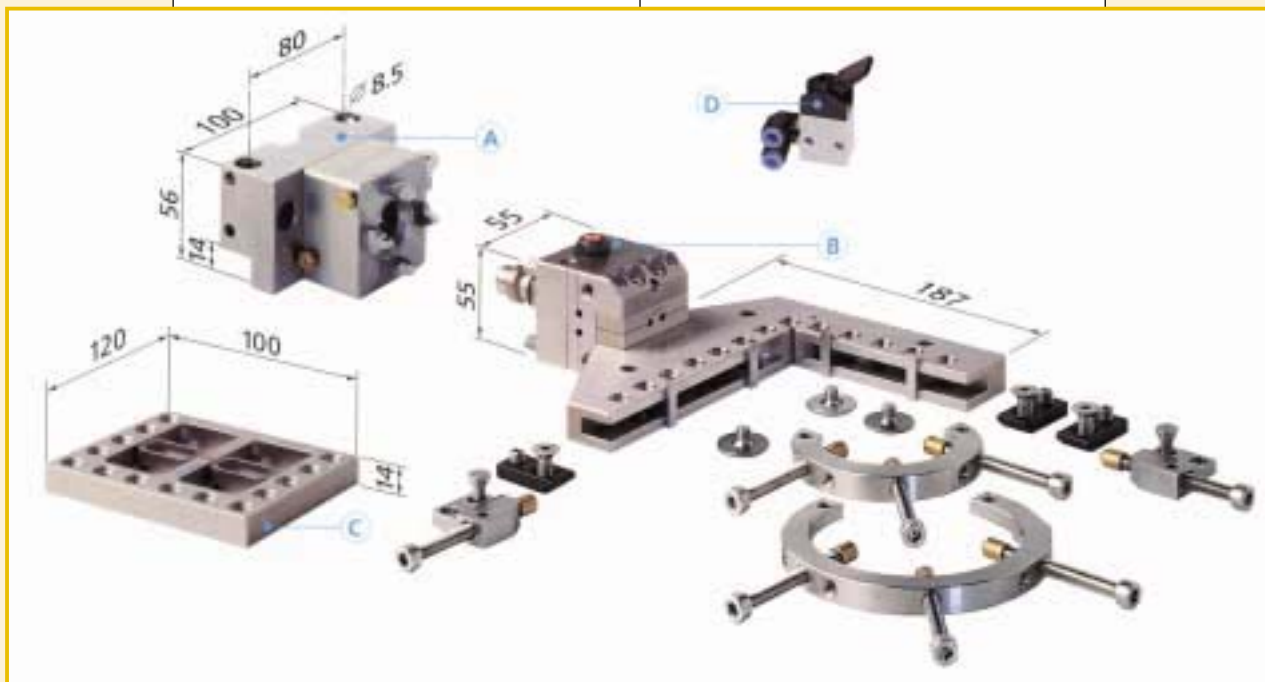
Mitsubishi Electric ha raggiunto anch'essa capacità di taglio superiori a 500 mm²/min con la serie FA-V, dotata di unità di potenza Power Master e dei sistemi di gestione PM4 e Power Control. Sono state fortemente aumentate anche le velocità di lavorazione di materiali a bassa conducibilità elettrica, quali il PCD e il CBN. Quanto alle precisioni, sono segnalate come facilmente ottenibili, su pezzi di forme complesse, tolleranze di rettilineità di $\pm 2 \mu\text{m}$ o migliori. Il modello FA10-V, con corse X, Y, Z, U e V di 350, 250, 220, ± 32 e ± 32 mm, impiega fili d'ottone di $0,2 \div 0,36$ mm, opzionalmente riducibili a $0,1 \div 0,15$ mm.

ALTA VELOCITÀ, CON MOTORI LINEARI

L'alta velocità di movimentazione degli elettrodi ha fatto il suo ingresso nell'elettroerosione, sia a tuffo sia a filo, con l'impiego dei motori lineari: CDM Rovella e Sodik sono le case che applicano questa tecnologia. La tendenza, che è favorita da elettrodi sempre più piccoli, leggeri e profondi, si accompagna a sistemi di controllo estremamente precisi dell'intervallo.

Il movimento ad alta velocità è impiegato per evacuare gli sfridi che si producono a mano a mano che sul pezzo si forma la cava: si genera un effetto d'aspirazione e pompaggio che spinge all'esterno i residui ed elimina ulteriori interventi di lavaggio durante l'erosione. Precisioni eccellenti e finiture superficiali d'elevatissima qualità, per fori con tolleranze di $2 \mu\text{m}$ e con rugosità superficiali Ra di $0,04 \mu\text{m}$ sono i

Sistema di serraggio multiplo con moduli ClampSet, della Erowa, per lavorazioni orizzontali.



risultati.

Alla CDM Rovella, in macchine a tuffo a banco fisso e con vasca a scomparsa, sono ritenute vantaggiose movimentazioni con i motori lineari fino a 20 m/min. Le macchine hanno gli assi X, Y, X e C gestiti con un CNC della stessa casa costruttrice e liberamente interpolabili nello spazio. La preferenza, alla CDM Rovella, va decisamente agli elettrodi di grafite e di standard essa applica il filtraggio a cartuccia, ma anche altri sistemi sono possibili a richiesta.

A tuffo, con motori lineari, è la nuova serie Azzurra EDHS: i tempi, sia di sgrossatura sia di finitura, sono dal 20 al 70% minori rispetto alle normali macchine EDM, e l'elettrodo si usura meno, poiché minore è il tempo d'esposizione all'azione abrasiva delle scorie.

Le corse X, Y e Z vanno da 600, 400 e 350 mm del modello più piccolo, VS 600 EDHS, a 1800, 1000 e 800 mm di quello più grande, VS 1810 EDHS, mentre i pesi massimi dell'elettrodo e del pezzo sono nei campi di 120÷300 kg e di 2500÷21000 kg. Inoltre l'asse rotativo, dotato di un 'Sistema C Ultra Preciso' (SCUP), si posiziona con precisioni di ripetibilità di 0,001° in interpolazioni a 4 assi e in lavorazioni con elettrodi pesanti montati a sbraccio. Completa le macchine un cambio elettrodi a 6, 20 o 40 posti.

Quanto alle macchine con motori lineari, a tuffo e a filo, della giapponese Sodick, si fa largo uso della ceramica per banchi, colonne, bracci, supporti. Materiale duro e leggero, chimicamente stabile, possiede elevata resistenza elettrica, è insensibile ai campi magnetici ed è poco soggetto alle dilatazioni termiche: il suo coefficiente

d'espansione è solo 1/3 di quello della ghisa.

Con i motori lineari, esenti da giochi meccanici e da vibrazioni, e con il software SMC (Sodick Motion Control) sono qui segnalati misure e trasferimenti delle forze istantanei e assorbimenti d'energia ridotti del 40%. L'SMC, appositamente sviluppato per le trasmissioni con motori lineari, controlla l'intervallo e trasmette i comandi di regolazione direttamente al motore lineare, con risoluzioni di 0,1 µm. Sia le macchine a tuffo sia a filo possono poi essere dotate del recentissimo software Q3vic Solution. Con questo i dati di modelli CAD 3D sono trasmessi direttamente al controllore CNC, della stessa Sodick, per essere convertiti in dati di lavorazione ottimizzati, senza alcun intervento dell'operatore.

Tipica macchina d'elettroerosione a tuffo ad alta velocità della Sodick è la AQ55L, con accelerazioni degli assi fino a 2 g. Il banco è perfettamente controbilanciato e su tutti gli assi sono presenti righe ottiche d'alta precisione. Le macchine della serie AQ, capaci di lavorazioni non presidiate 24 ore su 24, sono adatte non solo a stampi ma anche a produzioni di grandi serie.

Ultraprecise e ad alto contenuto tecnologico sono pure le macchine a filo della Sodick serie AP, con assi X, Y, U e V da 100, 120, 20 e 20 mm a 450, 300, 35 e 35 mm. Queste, per minori distanze di scarica e maggiori precisioni, lavorano oltre che con acqua demineralizzata anche a bagno d'olio. Il modello AP 450L, per pezzi di dimensioni fino a 600x400x130 mm, può lavorare con fili di 0,03 mm di diametro e produrre pezzi con rugosità superficiali Ra di 0,04÷0,06 µm.

Equipaggiamento UnoSet per palettizzazioni di macchine a filo, della Erowa, con piastre di adattamento di base A, B e D e con piastra di adattamento multipla C.