

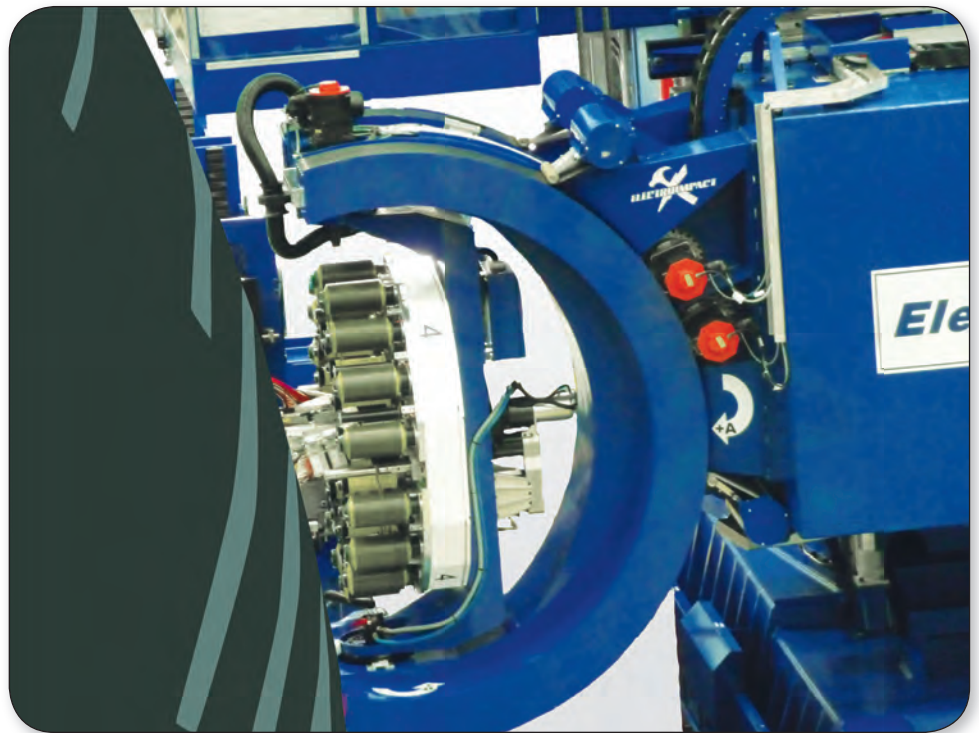


# Posizionamento veloce di fibre su grandi strutture

» Claude Fourtune «

La riduzione del peso dei velivoli riveste un'importanza fondamentale ai fini di una maggiore efficienza del carburante e non è importante soltanto in relazione ai costi, ma anche perché offre soluzioni in considerazione delle distanze che gli aerei del futuro dovranno coprire. Il rapporto fra l'alta resistenza delle fibre di carbonio e il peso rappresenta una delle principali innovazioni dei tempi odierni, ma l'esigenza di ritmi produttivi accelerati richiede macchinari complessi. Una società diretta da un giovane ingegnere, forn-

tore di attrezzature automatizzate d'avanguardia per l'industria aeronautica internazionale, ha messo a punto una soluzione unica, basata sull'offerta di un sistema di posa automatizzata di 50 metri di fibra al minuto, sinonimo di un sistema di controllo sofisticato e di trasmissione ad assi molto stabile ed accurato. Redex ha fornito tutti i componenti chiave di questo sistema di trasmissione ad assi. Electroimpact ha messo a punto la tecnologia del Posizionamento della Fibra Automatizzato (AFP) che



consente di tagliare e di agguingere le strisce di fibra di carbonio entro le soglie di tolleranza del posizionamento dettate dall'utilizzatore finale, a ritmi di 2000 IPM (50 metri al minuto) su superfici inclinate e complesse.

Tutte le fasi di stratificazione possono essere eseguite interamente secondo modalità bidirezionali e con controllo dell'operatore del grado di alimentazione, senza produrre alcun effetto sull'accuratezza del taglio finale.

Grazie all'esperienza maturata in qualità di fornitore di sistemi automatizzati industriali e di soluzioni tecniche, il punto di forza principale di questa società è l'integrazione dell'automatizzazione e dell'utilizzo di strumenti produttivi in



## High-Speed Fiber placement on large complex structures

» Claude Fourtune «

*Reducing aircraft weight is essential to boosting fuel efficiency. It's not only important in terms of cost, but it also gives solutions to the ever-increasing distances that airplanes of the future are expected to travel. Carbon fiber's huge strength to weight ratio is one of the main today's innovations, but the need for high production rates requires extremely complex machines. A young engineer driven company whose mission is to be the premier supplier of automated equipment*

*to the worldwide aircraft industry has developed an outstanding solution offering a 50-meter per minute automated fiber placement speed. This means a very sophisticated control system and very stable and accurate axes drive systems. Redex provided all the critical components to drive the axes. Electroimpact has developed Automated Fiber Placement (AFP) technology that allows cutting and adding carbon fiber strips (tow) within customer-end placement tolerances at*

*rates up to 2000 IPM (50-meter per minute) over ramped and complex surfaces. All layups can be performed fully bi-directionally and with operator control over the feed rate with no effect on end cut accuracy. With high experience in providing factory automation and tooling solutions, the Company's main strength is the integration of automation and tooling into synergistic production solutions. Highly skilled engineering teams allow for the flexibility to take*

*on multiple large projects at one time. This unique approach has resulted in Electroimpact growing to become the largest integrator of aircraft assembly lines throughout the world. The most recent customer is a large US aircraft component manufacturer which manufacture Fuselages, Underwing components, Composites and Wings. The Automated Fiber Placement (AFP) machine is designed to manufacture large commercial aircraft structures and features fully modular,*

*quick change heads with 30 second automatic head change. In order to make these large aerospace parts, the machine structure that controls the X, Y and Z motion of the fiber placement head (Post Mill or Gantry Designs) weighs 350,000 Lbs. (175 tons) and is accelerated at 0.2 g. Carbon fiber tows (Narrow strips of impregnated carbon fiber) are placed on multiple material forms on the same part (1/4" or 1/8" wide tows in high contour areas, 1/2" or wider in low contour*



soluzioni sinergiche. I team di ingegneri altamente qualificati garantiscono flessibilità nella realizzazione simultanea di progetti multipli.

Questo approccio unico ha permesso ad Electroimpact di integrare le linee di assemblaggio dei velivoli in tutto il mondo. Uno dei più recenti utilizzatori è un importante produttore statunitense di componenti per velivoli che produce fusoliere, componenti per sotto ala, compositi e ali.

Il macchinario per il Posizionamento della Fibra Automatizzata (AFP) è stato progettato per produrre le strutture di un velivolo commerciale di grandi dimensioni e si distingue per un sistema modulare e veloce di cambio automatico

delle teste, a un ritmo di 30 secondi.

Per realizzare questi componenti di grandi dimensioni dei velivoli, la struttura dell'attrezzatura che controlla i movimenti X, Y e Z della testa per il posizionamento della fibra (Post Mill o Gantry Design) pesa 350.000 libbre (175 tonnellate) con un ritmo di accelerazione di 0,2 g. Le strisce di fibra di carbonio (strette strisce di fibre di carbonio impregnate) vengono poste sulle

forme di materiale multiple sullo stesso componente (strette (1/4" o 1/8") per grandi superfici a margine, o larghe (1/2"), in superfici di dimensioni inferiori, per consentire massimi ritmi di produzione.

Si tratta di un'operazione del tutto esente da distorsioni, rottura di giunti e completamente bidirezionale.

Gli assi di rotazione del cilindro e X, Y, Z agiscono simultaneamente per permettere che la fibra di carbonio segua il contorno del componente in fase di



*areas) for the highest possible productivity: It is a 100% no-twist, 100% no splice breakage and fully bi-directional operation. The X, Y, Z and barrel rotation axes work together to let the carbon fiber follow the contour of the part being manufactured. The carbon fiber tows are placed on the tool which is machined into the shape of the final part. Furthermore, the carbon fiber has to be applied in different layers and different directions to optimize the strength of the final part. The point is that carbon fiber is very strong in tension, so all of the loads acting on the part must be supported in tension. The strokes can vary from short. ~ 2 Meters (6.6 ft.) of X-axis travel up to the full X-axis travel length which is ~30 Meters (98.4 Ft.).*

### AN ADVANCED CONTROL SYSTEM

*This machine involved a complete re-engineering of the cutting system and optimization of the feed system, tow path and creel system of the fiber placement head. The machine control system yielded in-spec cutting and on-the-fly adding at 2000 IPM and beyond. In particular, a series of issues arose from high speed cutting on the fly. With a laydown rate of 2000 IPM (R) and the end of cut placement tolerance of +/-0.050" (or 0.10" total [k]), the window of opportunity in time is as follows:  $T = (60 * k) / R$  (seconds) or,  $T = (60 * 0.10) / 2000T = 0.003$  seconds. In other words, at 2000 IPM, 1 millisecond equates to 0.033 inches of tow displacement.*



produzione. Le strisce di fibra di carbonio vengono collocate sull'utensile che agisce sulla forma del componente finale. Inoltre, la fibra di carbonio deve essere applicata in vari strati e in più direzioni per ottimizzare la resistenza del componente finale.

Il punto è che la fibra di carbonio presenta una forte tensione, quindi tutti i carichi che agiscono sul componente devono avere un supporto regolatore di tensione.

Le corse dell'asse X possono variare da brevi - 2 mt (6,6 piedi) fino a una lunghezza massima di 30 metri (98,4 piedi)

#### SISTEMA DI CONTROLLO AVANZATO

Questo macchinario ha richiesto la completa riprogettazione del sistema di taglio insieme all'ottimizzazione del sistema di alimentazione, linea di trasporto e rastrelliera della testina per il posizionamento della fibra. I comandi del sistema

permettono il taglio in-spec e a margine, con aggiunte a 2000 IPM e oltre. In casi specifici, sono sorti vari problemi nel taglio ai margini ad alta velocità. Con un tempo di posa pari a 2000 IPM® e una tolleranza di +/-0,050" (o 0,10" totale (k), il ventaglio di possibilità in termini di durate è il seguente:

$$T = (60 * k) / R \text{ (secondi) o,}$$

$$T = (60 * 0.10) / 2000T = 0.003$$

secondi. In altri termini, a 2000 IPM, 1 millisecondo equivale a 0.033 pollici di spostamento della striscia. Ciò dimostra che l'accuratezza e la ripetibilità del sistema di taglio deve essere notevolmente migliore rispetto al tipico regime di scansione CNC (4-8 ms).

La ripetibilità del singolo componente (ad es. attuatori, valvole ecc.) deve rientrare nell'ordine dei sub-millisecondi o ancora di più.

Inoltre, il sistema di segnalazione dell'operazione di taglio ha una risoluzione nell'ordine dei sub-millisecondi.

Electroimpact ha messo a punto un meccanismo di taglio ad alta velocità che consente di ta-



*This shows that the total accuracy and repeatability of the cutting system needs to be much better than a typical CNC scan rate (4 - 8 ms). Individual component repeatability (e.g. actuators, valves, etc.) must be in the sub-millisecond range or better. Further, the system for signaling a cut must have sub-millisecond resolution. Electroimpact developed a high speed cutting mechanism that allows cutting at high speeds with total cut times less than 1 millisecond. This system also has very little variability, making tow placement accurate and repeatable even at very high laydown rates. The factors, which affect the timing of on-the-fly cutting and adding, include program execution, output module reac-*

*tion, solenoid valve actuation, airflow and inertial reactions of the actuating mechanisms, etc. Each of these factors provides a lag in the execution of a cut or add relative to the nominal signal. If the lag is predictable and repeatable, the cut timing can be compensated. These lags also need to be minimized where possible. From extensive development and testing, the variability in lag for both feeding and cutting has been reduced below 1 millisecond, making end-of-cut or start-of-course placement very accurate at high speeds. Conventional controllers such as PLCs or CNCs generally operate on a "scan time", typically measured in milliseconds. Outputs are actuated once per scan, thereby*



gliare con tempi totali inferiori a meno di 1 millisecondo.

Questo sistema presenta una variabilità molto limitata, tale per cui il posizionamento risulta accurato e ripetibile anche nei casi di stratificazioni multiple.

I fattori che influiscono sulla durata dei tagli ai margini e sulle aggiunte includono l'attuazione del programma, la reazione del modulo di produzione, l'attuazione della valvola solenoide, il flusso d'aria e inerti dei meccanismi di attuazione ed altri. Ognuno di questi fattori provoca un ritardo nell'esecuzione di un taglio o aggiunta relativamente al segnale nominale. Se il ritardo è prevedibile e ripetibile, le tempistiche delle operazioni di taglio possono essere compensate.

Questi ritardi devono essere ridotti al minimo, dove possibile. Grazie ad un ciclo esteso di sviluppo e di test, la variabilità dei ritardi relativi alle operazioni di alimentazione e di taglio è stata ridotta al di sotto di 1 millisecondo, rendendo così la fase finale del taglio o di posizionamento iniziale molto accurate

ad alte velocità. I dispositivi di controllo convenzionali quali PLC o CNC operano generalmente su una "durata di scansione", misurata tipicamente in millisecondi. Le operazioni in uscita sono attuate ad ogni singola scansione, limitando la risoluzione delle tempistiche alla durata della scansione. Con un ritardo di 1 millisecondo da cui deriva un errore del posizionamento finale di 0,033" a 2000" al minuto, un errore di controllo di solo 1 millisecondo sarebbe inaccettabile per alte velocità di taglio o di aggiunta ai margini.

Per ridurre al minimo i ritardi dei tempi si richiedono dunque un'integrazione molto rigorosa del controllo del movimento CNC e la temporizzazione dei comandi di taglio e di aggiunta, e per questo motivo, è stato scelto il "Customer board" di Fanuc, un sistema che permette di interpolare le fasi di taglio e di aggiunta nel profilo operativo al livello di velocità programmata dal CNC. Questa è la prima implementazione del "Customer board" al di fuori del Giappone, l'azienda ha operato in

## TECHNOLOGIES

*limiting the timing resolution to the scan time. With a 1 millisecond delay resulting in a 0.033" end placement error at 2000"/minute, introducing a control error of even 1 millisecond would be unacceptable for high speed on-the-fly cuts or adds. Extremely tight integration of the CNC motion control and the timing of the cut and add commands is required to reduce the control timing delays to a minimum. Electroimpact has chosen to use Fanuc's "Customer Board", a system that allows to interpolate the cutting and adding into the motion profile at the velocity command level of the CNC. This is the first implementation of the customer board outside Japan, and the company worked closely with Fanuc to implement features*

*specifically for AFP applications. The control induced timing delays are in the range of microseconds, which effectively eliminates control timing delays as a source of error in cutting and adding.*

### **REDEX: THE ONE STOP SUPPLIER FOR LINEAR & ROTARY AXES DRIVE SYSTEMS, GEARHEADS AND RACKS & PINIONS SOLUTIONS**

*To answer the requirements, Redex faced the most difficult constraints: the combination of high speed, huge machinery weight and very complex combined motion with subsequent and frequent accelerations in all direction.*



## TECNOLOGIE

stretto contatto con Fanuc per implementare le funzionalità specificatamente per le applicazioni AFP. I ritardi indotti dal comando rientrano così nel range dei millisecondi, eliminando così i ritardi dei comandi come fonte di errore nelle operazioni di taglio e aggiunta.

### **REDEX: FORNITORE UNICO DI SISTEMI AD ASSI DI ROTAZIONE E LINEARI, SOLUZIONI DI INGRANAGGI, CREMAGLIERE E PIGNONI**

Per soddisfare i requisiti, Redex ha affrontato le principali difficoltà: l'alta velocità, il peso ingente del macchinario e il movimento combinato complesso con le conseguenti frequenti accelerazioni in tutte le direzioni.

“Prima di tutto bisognava eliminare le discontinuità del meccanismo, poi bisognava garantire

la massima rigidità per ottenere la perfetta ripetibilità nonostante le accelerazioni frequenti” ha affermato Peter Vogeli, Ingegnere capo di Electroimpact Inc. “Abbiamo scelto Redex perché nessun'altro produce ingranaggi di precisione con quel regime di forze e di propulsione.” I sistemi di trasmissione TwinDrive Rack & Pinion sono costituiti da due servo-riduttori planetari montati in parallelo a coppia elettrica. Questo sistema di precarico elimina completamente le discontinuità del meccanismo consentendo al servo-sistema di controllare l'esatta posizione dell'asse. L'estrema rigidità del sistema di trasmissione è fornita uniformemente in tutte le direzioni da un albero con pignone integrale, supportato da cuscinetti rinforzati. Questa tecnologia unica offre le migliori caratteristiche di rigidità torsionale attualmente disponibili sul mercato. Inoltre, al vertice della piramide, essa offre un'eccellente rigidità lungo le



*“The first issue was to eliminate Backlash. The second issue was to ensure the highest stiffness to offer perfect repeatability despite frequent acceleration”, explains Peter Vogeli, Chief Engineer, ElectroImpact, Inc. “We chose REDEX because no one else makes precision gearheads in that torque and thrust range”. TwinDrive Rack & Pinion drive systems are made up of 2 parallel mounted planetary servo reducers that are coupled electrically. This preload system fully eliminates the backlash and allows the servo system to control the exact axis position. Extreme rigidity of Redex drives is provided in all directions by an output shaft with an integral pinion supported by reinforced output bearings. This unique concept provides*

*istics that are among the best on the market. But at the top of it, it offers exceptional rigidity along the radial & axial directions ; this exceptional features often enables to twice the acceleration rates or the embedded weight in comparison with other solutions. The pinion pitch diameter is optimized to ensure the best ratio between the torque transmitted and rigidity as seen from the rack point of view. The bearing arrangement consists of two tapered roller bearings, preloaded and generously oversized. This bearing arrangement is designed to support the pinion as close as possible to the applied force, with only the thickness of the locknut separating the pinion from the output bearing. This particular design provides a considerable*



direzioni radiali e assiali, il che permette di raddoppiare il grado di accelerazione o il peso incorporato rispetto ad altre soluzioni. Il diametro del passo del pignone è stato ottimizzato per garantire il rapporto migliore fra la forza trasmessa e la rigidità dall'angolazione della cremagliera. L'utilizzo dei cuscinetti consiste di due cuscinetti a rullo rivestiti, precaricati e sovradimensionati. La disposizione del cuscinetto è stata progettata in modo da assistere il pignone a distanza ravvicinata dalla forza applicata, includendo soltanto lo spessore del controdado che separa il pignone dal cuscinetto. Questa struttura particolare permette di ridurre in modo considerevole la deviazione radiale, causa del 60% della deviazione totale (una caratteristica generalmente dimenticata dai sistemi tradizionali). Una vasta serie di soluzioni Redex è installata su ogni asse del macchinario, responsabile della risposta meccanica globale dell'attrezzatura, compreso il DPR TwinDrive esclusivo e il KRP size 6 (dimensione mas-

sima dell'ingranaggio planetario). Anche i pignoni PDP sono stati forniti anche per attivare gli encoder degli assi X e Y, direttamente dalla cremagliera con discontinuità nulla e per un'accuratezza e ripetibilità massime a costi contenuti. La stessa azienda ha fornito anche i moduli Electroimpact 10 & 5 elicoidali, la cremagliera dell'asse X e Y lungo i pignoni a schiuma espansa per lubrificare automaticamente le cremagliere. Queste sono fornite in sezioni di 1 o 2 metri e sono state progettate per essere collegate da un'estremità all'altra e per creare la lunghezza richiesta dall'asse. "Per concludere, la precisione del posizionamento è uguale a quella del taglio ( $\pm 0,0125$  mm.), a velocità massima. Gli assi attivati dai riduttori devono essere più precisi rispetto a questo valore perché agiscono sincronicamente per creare una forma complessa. Si stima che la precisione degli assi X, Y e Z sia 1/10 della precisione del posizionamento ovvero  $\pm 0,0125$  mm.", ha spiegato Dave Regiec, project manager di Redex USA.



*reduction in radial deflection, which is the cause of 60% of overall deflection (an often forgotten feature by traditional systems).*

*A large panel of Redex solutions are installed on each axe of the machine offering a unique responsibility in the global mechanical machine behavior, including the exclusive DRP TwinDrive and KRP size 6 (largest available planetary gearhead size).*

*PDP split pinions were also provided to drive the X-axis and Y-axis encoders directly from the rack with true Zero-backlash, providing high positioning accuracy and repeatability with a very competitive budget.*

*The same company also provided Electroimpact modules 10 & 5 helical, hardened and*

*ground rack for the X and Y axis along with polyurethane foam lubrication pinions to automatically relubricate the racks.*

*The racks are provided in 1 (or 2) meter sections and designed to be linked end to end to create the required length for the axis.*

*"At the end, the placement precision is equal to the cutting precision ( $\pm 0.050$ ") at maximum speed. The axis driven by the reducers must be more precise than this value since they are all working together to form a complex shape. We can estimate the X-Axis, Y and Z-Axis precision to be 1/10 of the placement precision or  $\pm 0.005$ " (0.0125 mm)", explains Dave Regiec, Redex' project manager in the US office.*