

# TURBINA IN TITANIO? SÌ, "DAL PIENO"!

DESCRIVIAMO IN CHE MODO È STATO LAVORATO  
IL ROTORE DI UNA TURBINA IN TITANIO Ti64A1  
"DA BLOCCO SOLIDO". UN CASO TECNOLOGICO  
SENZA PRECEDENTI AL MONDO.



Prototipo del rotore in titanio realizzato dal pieno da O.M.S. S.r.l.

**L**e leghe di titanio sono materiali di grande leggerezza, di elevata resistenza meccanica, di ottima resistenza alla corrosione e al creep (cioè a sforzi costanti alle alte temperature), oltre che duttili, trattabili termicamente e altamente biocompatibili. Tutte queste caratteristiche rendono il titanio e le sue leghe materiali sempre più “popolari”, utilizzati cioè in un’ampia varietà di applicazioni industriali. Tuttavia, i pezzi in titanio sono anche ostici da realizzare, sia per l’elevata difficoltà nel rispettare le tolleranze di progetto, sia per l’altissima usura degli utensili da taglio; senza dimenticare altri “inconvenienti” come l’infiammabilità e l’elevato costo. Ciò rende il titanio un materiale molto utilizzato, soprattutto in ambito aerospaziale, ma nel contempo non particolarmente amato. Per tale ragione, sono allo studio soluzioni e progetti innovativi per ottimizzare e per rendere ancora più fruibile il processo di lavorazione del titanio. In questo articolo ne approfondiamo uno particolarmente interessante, MANUNET Timac-64A1, progetto europeo che ha coinvolto diverse imprese e università, col fine di ottimizzare la lavorazione di alta precisione di componenti in leghe di titanio, mediante lo sviluppo di una nuova generazione di utensili e attrezzature. Più precisamente, il progetto, il cui inizio è stato dato nel 2011, mirava alla costruzione

di una turbina, o meglio, di un rotore in titanio Ti64A1 “dal pieno”: una realizzazione mai tentata in precedenza.

### **Una sfida senza precedenti**

Capofila e coordinatore del progetto è stata la O.M.S. S.r.l. di Avigliana (TO), impresa che dal 1989 è specializzata in lavorazioni meccaniche d’eccellenza, realizzando particolari conto terzi in particolare nei settori aeronautico, aerospaziale, del racing, del vuoto e dell’ultravacuo. Luca Saladino, amministratore delegato dell’impresa, racconta: «Il progetto mirava a costruire per la prima volta al mondo un rotore in Ti6Al4, cioè in titanio grado 5, per pompa turbomolecolare dal pieno, con l’obiettivo di sviluppare e testare una nuova generazione di utensili e di attrezzature, durevoli e di elevate prestazioni, per la lavorazione di componenti complessi e di parti sottili in leghe di titanio».

Perché una girante in titanio? «Nel corso della sua storia OMS ha realizzato decine di migliaia di giranti in alluminio, ma le richieste del mercato esigono turbine dalle caratteristiche sempre più spinte in termini di velocità di rotazione, durata, sicurezza e resistenza, essendo anche i gas d’esercizio più corrosivi rispetto al passato». Non a caso, già oggi alcuni rotori “speciali” vengono rivestiti in titanio per garantire prestazioni maggiori; ciò però non è sufficiente, in quanto oltre i 100°C le caratteristiche della struttura interna in alluminio cominciano a degenerare. «Per tale ragione – riprende Saladino – è scaturita l’idea di realizzare una girante completamente in titanio, materiale molto più affidabile e performante rispetto all’alluminio, con l’obiettivo di anticipare quello che forse sarà un trend tecnologico del futuro». Un rotore completamente in titanio, infatti, potrebbe garantire velocità di

### **La lega di titanio più diffusa al mondo**

La Ti6Al-4V (detta anche titanio “grado 5”) è, per le sue qualità in termini di leggerezza e resistenza, nonché per la proprietà di essere impiegata in costruzioni saldate a temperature di esercizio fino a 600°C, la lega più utilizzata al mondo, rappresentando il 50% del consumo totale di titanio. Risulta diffusamente impiegata in ambito aerospaziale, navale e chimico-medicale.



La sgrossatura è stata eseguita su centro di tornitura Mazak Integrex 200 S.



Le finiture sono state eseguite su tornio cmc Mori Seiki NLX 2500.

rotazioni decisamente più elevate, condizioni d'esercizio più proibitive e una vita maggiore.

### Il progetto della turbina

La girante in titanio in oggetto è stata progettata per funzionare, almeno teoricamente, all'interno di una pompa turbomolecolare, di una pompa cioè utilizzata tipicamente all'interno di laboratori

scientifici per creare il cosiddetto "ultravacuo".

Saladino spiega: «Stiamo parlando di un rotore con diametro esterno pari a 170 mm, in grado di ruotare a una velocità massima di 28 mila giri al minuto. Si tratta di prestazioni di assoluto livello. Le palette della girante, in questo tipo di applicazione, sono notevolmente sottili; e la loro distribuzione

superficiale è molto fitta». Un'altra peculiarità è che le tolleranze costruttive devono essere molto strette e la finitura superficiale più che ottima, al fine di evitare cedimenti strutturali dovuti a stress del materiale durante il funzionamento.

### Lo sviluppo delle attrezzature

Una volta definita la matematica della girante, è stata avviata la fase di progettazione dei dispositivi su cui applicare gli utensili speciali sviluppati dai partner spagnoli. Luca Saladino: «Abbiamo eseguito una serie di test sulle attrezzature esistenti e una ricerca approfondita delle problematiche legate alla lavorazione del titanio». Da tale analisi è emerso che principali problemi legati alla produzione di componenti in titanio sono: (1) la tendenza all'infragilimento del materiale alle alte temperature; (2) i picchi di calore nella zona tra utensile e pezzo con conseguente rinvenimento del pezzo e la smussatura dei taglianti; (3) le possibili abrasioni e le microsaldature; (4) la formazione di microtrucioli che alterano i taglianti e generano tensioni residue sul pezzo.

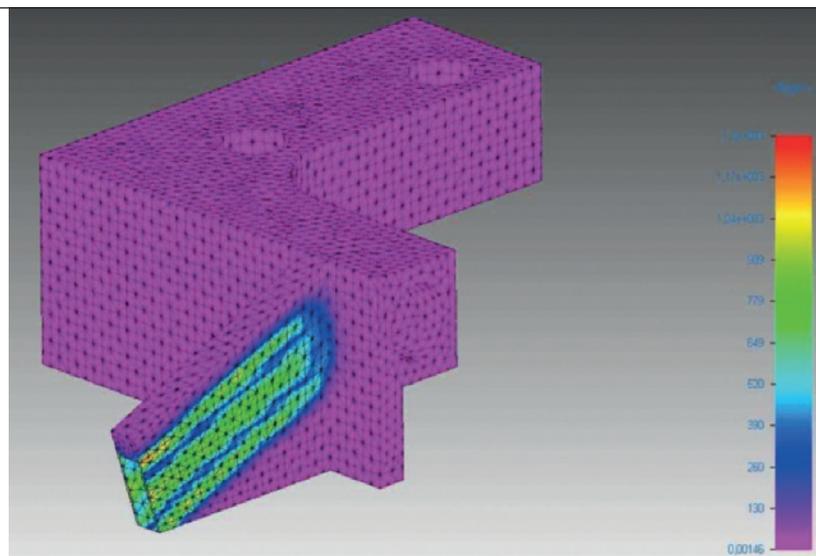
Per minimizzare questi inconvenienti è stato studiato un sistema particolarmente ingegnoso ed efficace di adduzione del fluido lubrorefrigerante, che ha permesso di superare non poche difficoltà dovute al ridotto spazio tra le palette. «Poiché l'ingombro era minimo – precisa Saladino – potevamo utilizzare solo utensili di piccole dimensioni, i quali però non consentivano il passaggio all'interno del fluido. O meglio: lo spazio c'era, ma non era sufficiente, sicché le portate risultavano inadeguate e l'orientamento del getto non ottimale. Per tale ragione,



COM'È FATTO

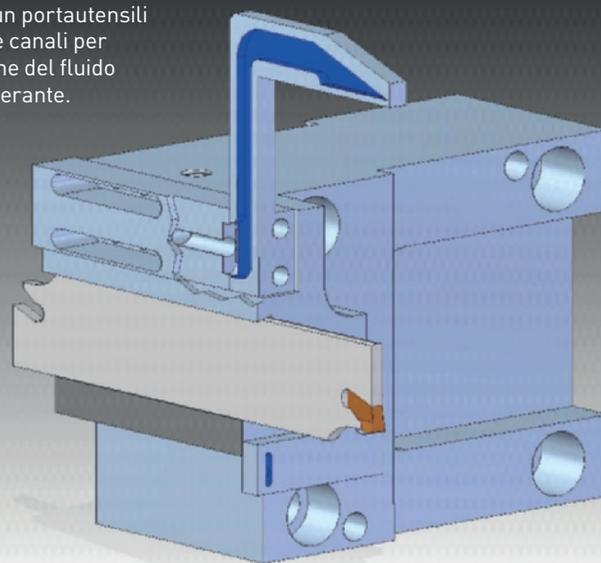


Test di sgrossatura del titanio.



Una delle simulazioni FEM effettuati per la progettazione dei portautensili.

Render di un portautensili con ugelli e canali per l'immissione del fluido lubrificante.



## Un progetto europeo d'alto respiro

MANUNET è una rete finanziata dalla Commissione Europea nell'ambito del sesto e settimo programma quadro, che dal 2006 lavora con l'obiettivo di promuovere e finanziare progetti transnazionali di ricerca nel campo della produzione industriale attraverso bandi annuali. In tale quadro si colloca il MANUNET Timac-64A1, progetto che è stato coordinato dalla piemontese O.M.S. S.r.l. di Avigliana (TO) e che ha coinvolto: Pegaso Sistemi S.r.l., impresa di Coggiola (BI) che sviluppa macchine speciali e automazione per l'industria e la ricerca; Zubiola S. COOP. (Azkoitia, Spagna), gruppo di riferimento internazionale nella produzione di utensili diamantati; Industrias Mecánicas Microlan SI (Huarte, Spagna) azienda all'avanguardia nella costruzione utensili metallo duro. Nell'attività sono stati coinvolti anche il Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT) del Politecnico di Torino e l'AIN, associazione spagnola che sostiene le imprese nello sviluppo tecnologico di soluzioni avanzate d'ingegneria.

dopo diverse valutazioni, tra cui quella della scelta dell'olio emulsionante, abbiamo optato per un sistema di "lubrificazione esterna" all'utensile, progettando e costruendo ugelli modulari in acciaio da innestare su speciali portautensili». Sostanzialmente, sono stati progettati innovativi "portautensili refrigerati", dotati di attacchi per ugelli e piccoli canali (diametro 2 mm) per il passaggio del fluido ad alta pressione, in modo da garantire portata adeguata, corretta direzione del getto, concentrata cioè nella zona di taglio, ed evacuazione ottimale dei microtrucioli. Non solo: sono stati eseguiti diversi test, calcoli e simulazioni FEM per

assicurare che tali portautensili fossero di elevata rigidezza, al fine di compensare la notevole elasticità del titanio e di contenere le vibrazioni, conferendo così massima stabilità all'intero sistema. Saladino: «Senza questo tipo di soluzione sarebbe stato impossibile realizzare la girante il titanio, soprattutto nella fase di sgrossatura sul centro di tornitura».

## Le lavorazioni per asportazione truciolo

La fase di realizzazione vera e propria della girante è durata all'incirca tre settimane. Dapprima sono stati definiti tutti i percorsi utensili mediante programmazione CAM, dopodiché si è passati



Finitura delle palette. Si nota il portautensili con ugello per l'immissione del fluido lubrificante.



Rotore finito: dettaglio delle palette.

Il rotore posizionato su una delle attrezzature prototipali costruite per la fase di misurazione e controllo qualità.



all'esecuzione. La sgrossatura è stata eseguita su centro di tornitura Mazak Integrex 200 S, mentre la finitura su tornio CNC DMG Mori NLX 2500.

«Per la sgrossatura – racconta l'amministratore dell'impresa piemontese – abbiamo utilizzato gli utensili in metallo duro sviluppati dall'impresa basca Zubiola. Per la finitura, invece, abbiamo utilizzato gli utensili diamantati realizzati dall'azienda navarra Microlan, su disegno O.M.S.».

In entrambi i casi, sono stati montati i portautensili speciali sviluppati e testati come descritto nei paragrafi precedenti. Al netto delle operazioni di

programmazione, settaggio, attrezzaggio, ecc., la fase complessiva d'asportazione truciolo è durata all'incirca 32 ore, in cui le due macchine hanno lavorato ad alta velocità, assicurando una precisione dell'ordine del centesimo di millimetro.

Saladino: «Il risultato è stato notevolissimo in termini sia di precisione, sia di forma, rispettando le specifiche del progetto. La differenza di altezza tra le palette sul diametro è stata contenuta in 0,015 mm, il che è un ottimo risultato considerando che ogni palette ha una lunghezza di 40 mm e che il diametro complessivo, corpo più palette, è di 170 mm».

## Materiale ostico da lavorare

Le lavorazioni delle leghe di titanio generano trucioli sottili che si muovono ad alta velocità sopra la superficie dell'utensile in una piccola area; l'alta pressione di contatto che ne deriva e la bassa conducibilità termica del materiale provocano una temperatura insolitamente alta all'estremità dell'utensile, il che, unitamente all'alta "reattività chimica" del titanio, determina un forte attrito e quindi l'elevata usura, se non la rottura prematura, dell'utensile stesso. Il titanio è inoltre altamente infiammabile ed è quindi fonte di potenziali rischi per la sicurezza. Non solo: a causa del modulo elastico relativamente basso, le parti in titanio più "snelle" possono deformarsi con maggiore facilità rispetto ad altri materiali, per esempio l'acciaio, il che significa che per taluni componenti il rispetto delle tolleranze progettuali è tutt'altro che banale.

## Il collaudo dimensionale

Occorre mettere in evidenza che il progetto non ha riguardato solo lo sviluppo di portautensili speciali per le lavorazioni meccaniche, ma anche delle attrezzature di supporto per il controllo qualità. Saladino entra nel dettaglio: «Abbiamo sviluppato, assieme ai nostri partner, una serie di pinze e pallet per il posizionamento del rotore su centri di misura tridimensionali, al fine di eseguire il collaudo dimensionale, sia al termine, sia durante le fasi di lavoro». Si tratta di attrezzature modulari e automatiche, utilizzabili per pezzi in titanio di qualsiasi forma, che garantiscono precisione e ripetibilità di posizionamento



Luca Saladino, amministratore delegato di O.M.S. S.r.l. (Avigliana, TO).

con tolleranza inferiore ai 0,05 mm. Tali attrezzature possono ridurre i tempi di fermo macchina dovuti al riattrezzaggio, assicurano semplicità, immediatezza di posizionamento, manovrabilità e praticità di utilizzo.

### Il “futuro” nel mirino

Il rotore in titanio Ti64A1 è venuto alla luce dopo due anni di studi, test e di messa a punto delle attrezzature, e dopo tre settimane di lavorazioni meccaniche. Rispetto ai rotori in alluminio, può costare fino a 10 volte di più; e questo rende, al momento, tale soluzione commercialmente non praticabile. Saladino ha tuttavia una visione: «Non

abbiamo dubbi che in futuro, aumentando la richiesta di questo tipo di componenti, i costi e i tempi di produzione potranno essere abbattuti e l'applicazione potrebbe diventare, per taluni settori ad elevato valore aggiunto, praticabile».

O.M.S., grazie al progetto Manunet, che si è concluso nel 2014, ha acquisito notevole esperienza nell'ambito della fresatura delle palette, il che ha permesso all'azienda piemontese di ottenere importanti commesse nuove nel settore. Saladino: «A prescindere dai risvolti commerciali, l'iniziativa è stata un successo perché ha permesso di realizzare utensili e portautensili per sgrassatura e

## Qualità piemontese nel mondo

La O.M.S. S.r.l. di Avigliana (TO) svolge dal 1989 l'attività di lavorazione e costruzione di particolari meccanici di alta precisione su disegno del cliente nei settori aeronautico, aerospaziale, del vuoto e ultravacuo; inoltre, è in continua crescita nel settore “racing”, realizzando particolari destinati al campionato mondiale F1 e moto GP. Tra i maggiori clienti segnaliamo il gruppo Sorin, multinazionale che produce apparecchi medicali, e Agilent Technologies, multinazionale californiana di riferimento nell'ambito chimico, energetico, ambientale, farmaceutico e alimentare, per la quale O.M.S. produce particolari di alta qualità, come per esempio i rotori per pompe turbomolecolari.

L'impresa dispone di un reparto produttivo d'eccellenza, con macchine a 5 assi, centri di lavoro multitasking, macchine di tornitura e per microlavorazioni, oltre attrezzature complementari. Dal 2002 adotta sistemi digitalizzati all'avanguardia di controllo qualità e di gestione delle commesse, denominati SPC (System Processing Control) e CQC (Certificazione Qualità e Collaudo).

finitura per la lavorazione di parti in titanio, oltre che pallet prototipali per il collaudo dimensionale». Tali attrezzature sono attualmente in uso presso O.M.S. e consentono all'azienda di realizzare e misurare non solo alcuni particolari in titanio, ma anche completi rotori in alluminio con prestazioni migliorate rispetto al passato. «Più in generale - conclude Luca Saladino - , il contenuto dell'iniziativa è stato elevatissimo, a mio parere, sia per il coinvolgimento internazionale sia per il tasso di innovazione, tant'è consentirà in futuro di abbattere nuovi limiti in questo campo. Non a caso, i finanziatori del progetto erano entusiasti dei risultati ottenuti». ■