

Comprimere con attrito

ROBERTO GRASSI

Misurare l'attrito in macchine ad alta velocità come i compressori non è un'operazione immediata, le metodologie standardizzate non raggiungono il campo di velocità in gioco quindi è necessario aprire la strada seguendo i metodi classici ed accelerando fin dove è possibile per spingersi oltre bisogna fare un salto di qualità. In questo articolo analizzeremo la metodologia di misura utilizzata in un banco prova concepito per effettuare test su componenti di compressori d'aria. Tale banco deve raggiungere prestazioni estremamente elevate in modo da riprodurre le condizioni di lavoro reali a cui i componenti sono sottoposti.

Compressori puliti

L'esigenza di comprimere l'aria con rendimenti elevati contrasta con il bisogno che l'aria compressa abbia determinate caratteristiche di purezza. I compressori moderni siano essi alternativi a vite o a palette basano il loro funzionamento sull'uso importante di lubrificazione forzata mediante olio col risultato di avere aria contaminata da lubrificante che deve in seguito essere rimosso con varie tecniche. La realizzazione di compressori senza lubrificazione, denominati oil free, oppure con presenza di lubrificante ridotta al minimo, detti oil less, è un traguardo importante per l'industria compressoristica moderna e le prestazioni di tali macchine, sia in termini di durata che in termini di resa sono oggetto di studio da vari anni. Il progetto Isecomp, finanziato dalla Regione Piemonte, vede impegnata un'azienda leader nel campo insieme al Politecnico di Torino ed a una ditta che lavora materie plastiche. Ise-

Il banco prova sviluppato presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino è concepito per raggiungere le elevate velocità tipiche della compressione dell'aria che si attestano intorno ai 5 m/s. Esso riproduce allo stesso tempo le condizioni di carico PV sugli elementi striscianti che si avrebbero in realtà

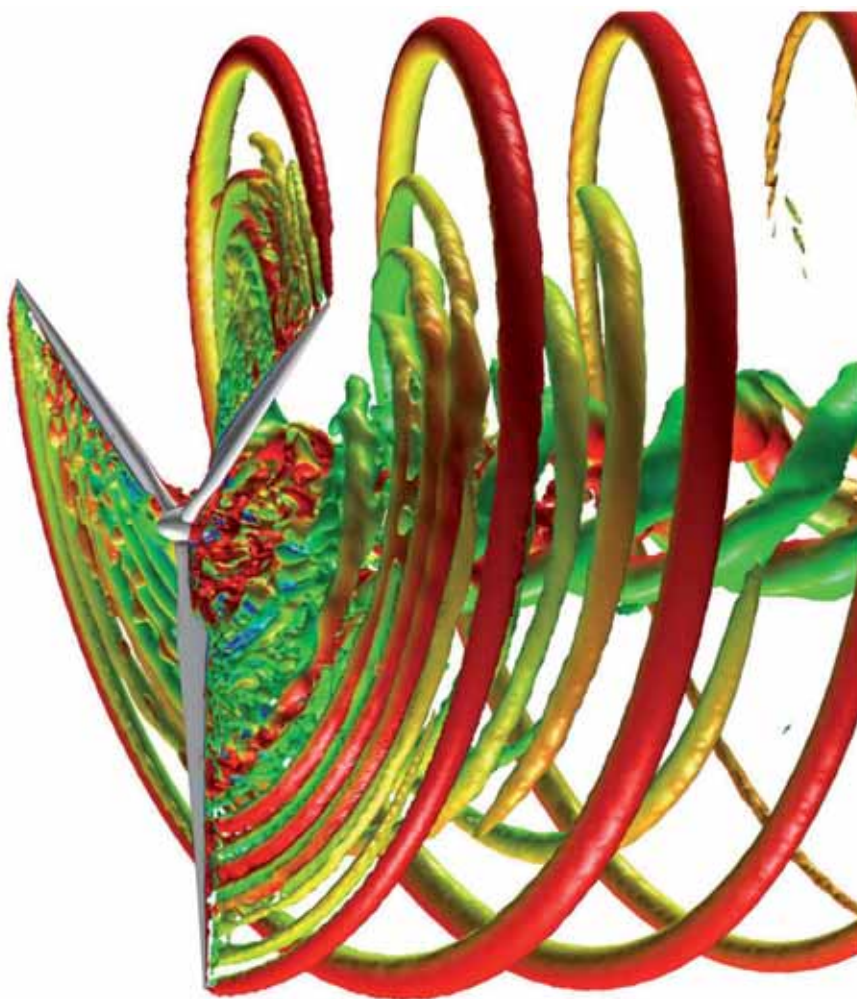


Foto Acusim Software

comp ha come missione lo studio del comportamento di particolari materie plastiche volto a valutarne l'impiego per la realizzazione degli elementi striscianti di compressori a ridotta lubrificazione. I compressori in questione avranno le parti rotanti lubrificate in maniera convenzionale con cuscinetti a sfere precaricati a grasso mentre le fasce di guida e di tenuta dei pistoni saranno realizzate in polimero lavorante a secco. È quindi evidente l'importanza di studiare questi polimeri dal punto di vista tribologico dell'attrito radente e dell'usura nelle condizioni di carico tipiche dei compressori d'aria.

Il fattore PV

Il coefficiente di attrito dei materiali che costituiscono gli elementi striscianti influenza il comportamento del compressore in termini di potenza persa quindi di rendimento mentre la resistenza ad usura degli stessi va a determinarne la durata. La ricerca e la sperimentazione nel campo dei nuovi materiali passano per l'esecuzione di prove nelle quali si cerca il miglior compromesso tra perdite e durata.

Il parametro più importante nell'effettuazione di queste prove è il cosiddetto PV ovvero il prodotto tra pressione al contatto e velocità di traslazione, che risulta essere il miglior indice che rappresenti il carico a cui è soggetto il materiale di attrito.

La trattazione classica del coefficiente di attrito secondo il modello coulombiano e la legge di Stribeck invece utilizzano come parametro la velocità di traslazione e considerano il valore del coefficiente di attrito indipendente dalla pressione al contatto.

Appare quindi chiaro che le prove dovranno essere svolte a velocità compa-

rabili con quelle tipiche dei compressori qualora si voglia misurare il coefficiente di attrito mentre dovranno rispettare i valori del parametro PV per risultare coerenti nel caso si valuti l'usura del componente. Purtroppo le metodologie di prova standardizzate per gli studi tribologici effettuate a velocità più alte non raggiungono la metà della velocità tipica di un compressore alternativo e se si considera il parametro PV questo si attesta su valori dell'ordine di un decimo di quelli in uso.

A questo si aggiunge il fatto che le prove standard di attrito sono svolte con geometrie e condizioni di carico molto dissimili da quelle tipiche di un compressore. Nell'ambito del progetto lsecomp si è quindi deciso di realizzare un sistema di misura in grado di provare il componente reale in condizioni di lavoro controllate.

Sempre più veloci

Il banco prova sviluppato presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino (figura 1) è concepito per raggiungere le elevate velocità tipiche della compressione dell'aria che si attestano intorno ai 5 m/s riproducendo allo stesso tempo le condizioni di carico PV sugli elementi striscianti che si avrebbero in realtà. Il banco è propulso da un motore lineare in grado di esercitare forze che superano il kN raggiungendo e superando le velocità richieste. Il motore lineare muove un supporto portacampioni entro una canna ricavata da un compressore di impiego commerciale supportata in modo che si possa misurare la forza che si esercita su di essa. Il supporto portacampioni è strutturato in modo da alloggiare due elementi striscianti nelle stesse condizioni in cui si troverebbero montati in un cilindro

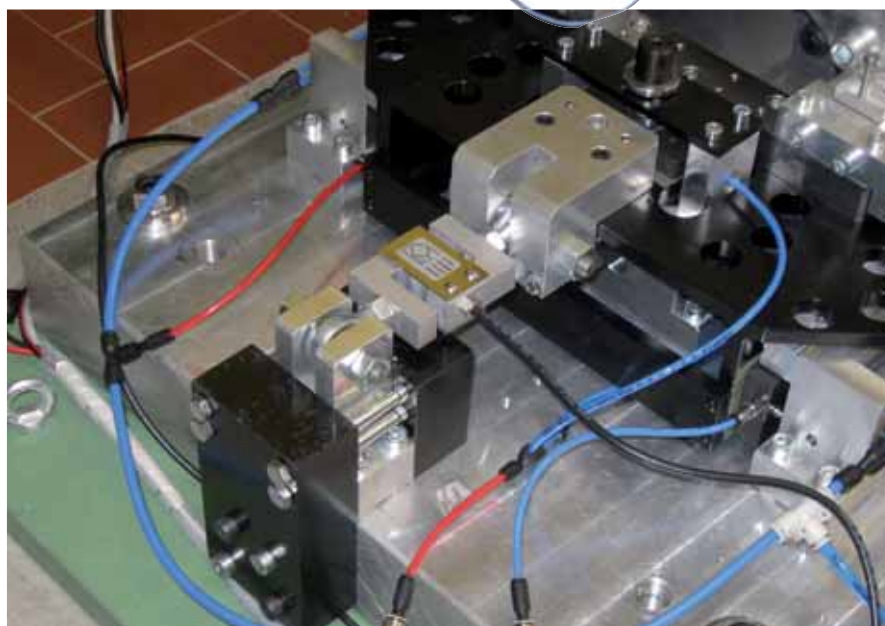
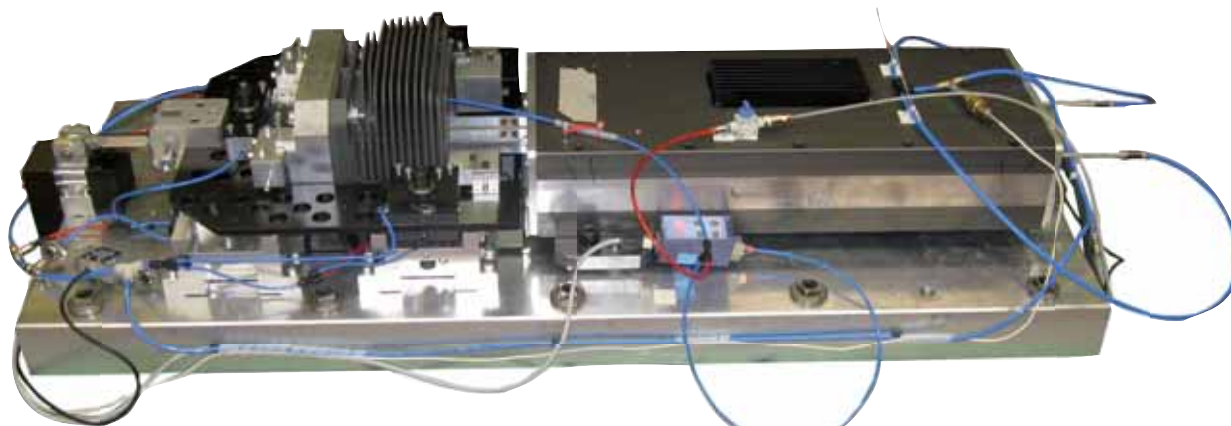


Figura 1. In alto, il banco prova. A destra il motore lineare e a sinistra la parte di misura. In basso, la parte di misura dettaglio sulla cella di carico.



Figura 2. Dettaglio dell'equipaggio mobile con portacampioni. Tipologie di campioni ricavate da fasce guida in prova.

di compressore con la possibilità di variare la forza con cui lo strisciante agisce contro la canna. In questo modo variando la forza normale di contatto tra strisciante e canna si simulano le differenti condizioni di carico del compressore. Il sistema di supporto della canna è di tipo pneumostatico, la canna si trova sospesa su una serie di cuscinetti alimentati ad aria compressa che eliminano qualsiasi forma di interazione e di disturbo dall'esterno lasciando libero il grado di libertà assiale. Una cella di carico (figura 1) allineata con l'asse della canna misura la forza che viene ad essa trasmessa dal movimento del portacampioni (figura 2). La canna è inoltre dotata di un sistema riscaldante a cartuccia in grado di mantenere costante la temperatura della stessa durante le prove. Il sistema può lavorare in diversi

modi, se si devono effettuare misure di attrito vengono effettuate delle corse a velocità crescenti mantenendo costante la forza normale di spinta sugli striscianti e realizzando una serie di acquisizioni a diversi valori di quest'ultima. Le prove di durata invece avvengono effettuando serie di cicli di lavoro a forza e velocità costanti in modo che il parametro impostato sia un determinato PV. Durante le prove di durata non si effettuano misurazioni di attrito bensì si valutano altri fattori come: il calo di peso e di dimensioni e la temperatura di lavoro del materiale plastico.

Interpretare i dati

La misura del coefficiente di attrito viene effettuata a velocità elevate lungo una corsa breve, le canne dei compressori sotto test non superano i 200 mm.

Questo comporta tutta una serie di problematiche dovute alla tempistica ridotta, una corsa alla massima velocità si svolge in pochi millisecondi durante i quali l'andamento della forza deve essere registrata accuratamente; a queste velocità la dinamica del sistema diventa preponderante ed i valori misurati vengono influenzati da quest'ultima. La canna e il suo supporto rigidamente vincolati al telaio tramite la cella di carico costituiscono un sistema massa molla le cui caratteristiche di massa e rigidità fanno sì che la sua frequenza di oscillazione libera sia di circa 60 Hz. Durante una corsa il sistema viene eccitato da un segnale di forza (trasmesso tramite gli striscianti) simile ad un gradino. La forza misurata avrà una fase di transitorio dove all'andamento a gradino si sovrappone una componente dinamica sinusoidale smorzata. Per misurazioni a velocità contenute, ovvero con più tempo a disposizione, il transitorio si estingue in un tempo sufficiente a permettere che il valore di regime sia visibile e misurabile. Per le prove effettuate a velocità elevata accade che durante il breve periodo nel quale avviene la corsa le oscillazioni rimangano di ampiezza elevata. Questo problema può essere superato in diversi modi, il banale dei quali consiste nell'aumentare la frequenza propria del sistema aumentandone la rigidità. Le oscillazioni si smorzerebbero in un tempo minore lasciando il tempo necessario per effettuare la lettura. Questa soluzione è fattibile ed è già stata implementata, il problema è che non consente incrementi di frequenza tali da effettuare misure corrette in tutto il campo di velocità. Si rende necessario implementare una sorta di modello del sistema che realizzi un osservatore degli stati, cioè un calcolo teorico che sulla base dei pochi dati a disposizione riesca a valutare il tipo di oscillazione ricavandone il valore di regime della forza.

R. Grassi, Politecnico di Torino.