

Banco prova per attuatori utilizzati in aeronautica

OBIETTIVO PRINCIPALE DI QUESTA ATTIVITÀ È QUELLO DI PROGETTARE E REALIZZARE UN BANCO PROVA INNOVATIVO IN GRADO DI SOTTOPORRE ATTUATORI ELETTROMECCANICI LINEARI, UTILIZZATI IN CAMPO AERONAUTICO, A VERIFICHE FUNZIONALI SIA STATICHE CHE DINAMICHE CON CARICO RESISTENTE VARIABILE IN TUTTA LA CORSA DELL'ATTUATORE, SIMULANDO CONDIZIONI DI LAVORO CRITICHE IN ACCORDO CON GLI ELEVATI STANDARD RICHIESTI PER QUESTE APPLICAZIONI (CARICO LIMITE, CARICO ULTIMO, BACKLASH, ENDURANCE, TEMPERATURA...). IL CARATTERE INNOVATIVO DI QUESTO BANCO CONSISTE NELL'UTILIZZO DI UN MOTORE ELETTRICO LINEARE COME GENERATORE DEL CARICO RESISTENTE DINAMICO AL POSTO DEI SISTEMI IDRAULICI O PNEUMATICI COMUNEMENTE ADOTTATI. IN QUESTO MODO È POSSIBILE RAGGIUNGERE: MAGGIORI PRESTAZIONI ALLE ALTE FREQUENZE, MAGGIORE EFFICIENZA E MINORE IMPIEGO DI ENERGIA, MAGGIORE VERSATILITÀ E REATTIVITÀ DEL SISTEMA, MAGGIORI PERFORMANCES E AFFIDABILITÀ DEL SISTEMA DI CONTROLLO, SEMPLICITÀ NELLA DEFINIZIONE DEL CICLO DI LAVORO E COSTI DI REALIZZAZIONE MINORI.

La presente attività è stata svolta attraverso una collaborazione fra la Excogita S.r.l. e il CIMIS, Consorzio Interuniversitario Macchine, Impianti e Sistemi per l'Energia, l'Industria e l'Ambiente, combinando le capacità tecniche di progettazione e realizzazione di macchine speciali per attività di ricerca in campo industriale, proprie dell'azienda Excogita, con le conoscenze teoriche e di ricerca dell'innovazione che il CIMIS, tramite la collaborazione con l'Università di Ingegneria di Perugia, possiede. Obiettivo principale di questa attività è la progettazione e realizzazione di un banco prova innovativo e multifunzionale per il testing di attuatori aeronautici di piccole/medie dimensioni.

La peculiarità principale di questo banco, chiamato "Banco Prova Attuatori", è rappresentata dal fatto che il suo utilizzo deve permettere lo svolgimento di varie tipologie di prove, sia statiche che dinamiche (carico critico, carico limite, frequenze di ciclo, backlash, endurance, temperatura...), in modo da ottenere una verifica globale di funzionamento e una caratterizzazione approfondita delle performance di attuatori aeronautici.

Lo scopo è quello di fornire alle case produttrici uno strumento di carattere generale che, nel caso di nuovi attuatori, sia in grado di verificare le funzionalità generali dei prototipi prima di avviare una linea di produzione o, nel caso di prodotti ormai consolidati, sia in grado di certificarne dettagliatamente le caratteristiche al momento della commercializzazione [1].

Il carattere innovativo di questo banco prova risiede nel fatto di utilizzare un motore elettrico lineare come generatore del carico resistente al posto dei sistemi idraulici o pneumatici comunemente adottati sin ora per questo tipo di applicazioni.

Questa esigenza nasce dal fatto che i sistemi pneumatici o idraulici pur essendo caratterizzati da un costo economico relativamente basso richiedono un elevato grado di complessità progettuale, realizzativo, di gestione/manutenzione del circuito di alimentazione e soprattutto di definizione e sviluppo del sistema di controllo (controllo esclusivamente limitato in forza e non in spostamento) [2,3].

Le problematiche relative alla definizione del sistema di controllo e del ciclo di lavoro risultano ancor più evidenti in caso di applicazioni specifiche per attuatori aeronautici con prove funzionali critiche caratterizzate da dinamiche spinte tipicamente richieste da questi standard di produzione [4-8].

La soluzione del motore elettrico lineare porta diversi vantaggi fra cui: maggiori prestazioni alle alte frequenze (soprattutto con piccoli carichi), maggiore efficienza e minore energia di utilizzo, maggiore versatilità del sistema (sistema più reattivo, facile passaggio da un metodo attivo a uno passivo), maggiori prestazioni e affidabilità del sistema di controllo e costi di realizzazione minori.

Obiettivi

Gli obiettivi principali sono quindi lo sviluppo e realizzazione di un banco prova in grado di sottoporre attuatori elettromeccanici lineari a verifica statica o dinamica di vario tipo impartendo una curva di carico variabile in tutta la corsa dell'attuatore, anche per frequenze di ciclo molto elevate.

Con questo banco sarà quindi possibile realizzare molteplici studi sperimentali come test di prestazione e funzionalità (ad esempio simulazioni di manovre), test di resistenza, test di rigidità dinamica e test in temperatura...

Nelle prove di carattere dinamico, il carico resistente verrà imposto attraverso l'utilizzo di un motore elettrico lineare che dovrà essere in



Fig. 1 - Architettura del banco.

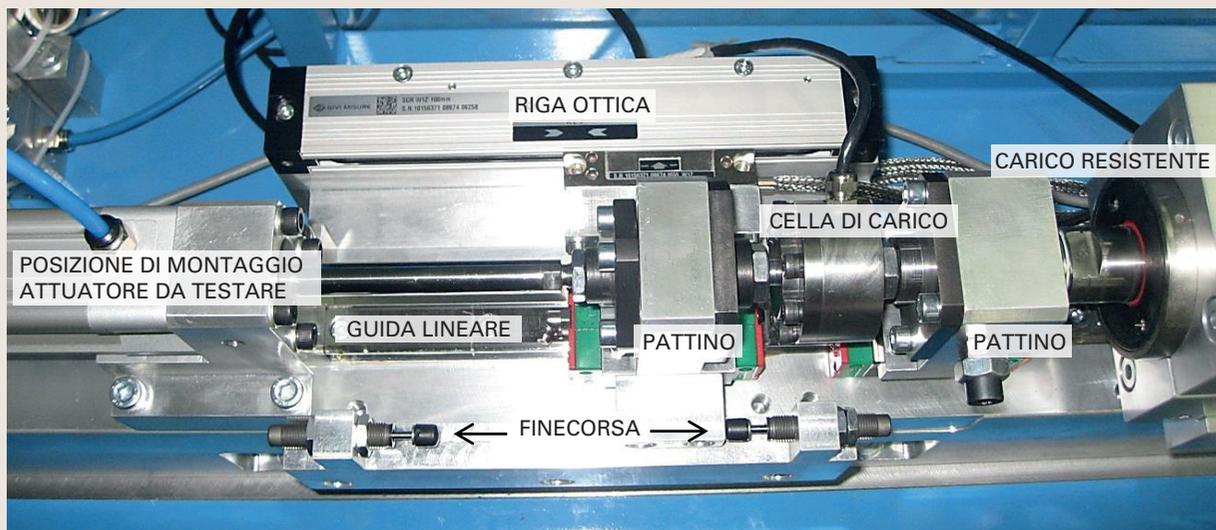


Fig. 2 - Catena cinematica e di misura delle grandezze fondamentali.

grado di garantire elevate prestazioni sia in termini di forza erogata che caratteristiche di moto e le cui performances dovranno essere verificate tramite appositi test di validazione del funzionamento del banco. Inoltre, in questo stesso stesso banco, dovranno poter essere eseguite prove statiche con carichi elevati in vari punti della corsa dell'attuatore lungo tutto il range di spostamenti consentiti al fine di poter effettuare le prove di carico limite, ultimo e valutazione della rigidità del sistema.

Le diverse tipologie di attuatori saranno vincolati al banco grazie a specifiche fixture ed equipaggiamenti progettati con lo scopo di riprodurre le rigidità calcolate degli organi di supporto nelle condizioni di funzionamento reali.

Nel dettaglio dovrà essere possibile eseguire le seguenti prove, da effettuarsi anche in condizioni ambientali controllate (temperatura-umidità variabili):

- carico limite
- carico ultimo
- run-in
- accuracy
- irreversibility
- backlash
- test funzionali
- performance dinamiche
- endurance
- acquisizione dati elettrici
- verifica funzionalità software

Per il corretto e pratico svolgimento dei test, il banco dovrà essere caratterizzato da un'apposita catena di misura delle grandezze fondamentali, costituita da sensori di forza, spostamento e, nel caso di prove in ambiente controllato, anche da un sensore di temperatura.

Il banco dovrà inoltre essere dotato di un'interfaccia utente HMI (Human Machine Interface) customizzata che, a seconda delle tipologie di prove da effettuare, deve permettere la definizione dei parametri principali e l'acquisizione e processamento delle grandezze fisiche fondamentali.

Nel complesso, lo sviluppo di questo banco richiede l'analisi e la soluzione di problematiche che coprono tutto il campo di progettazione di una macchina partendo da quello meccanico o elettrico fino allo sviluppo software di sistemi dedicati di interfaccia e di controllo e di gestione della sicurezza.

Lo scopo principale della ricerca è di trovare soluzioni di progetto ottimali per i seguenti obiettivi:

- Individuazione e progettazione dell'architettura, della componentistica meccanica ed elettronica.
- Progettazione di un software di controllo specifico per l'applicazione della forza antagonista passiva ed attiva, in dialogo con i controllori del moto lineare.
- Verifica delle funzionalità e performance del banco.

La fase di verifica della macchina dovrà in primo luogo confermare il corretto funzionamento del motore elettrico lineare in termini di prestazioni (forza e velocità di spostamento del carico resistente) che caratterizzano il ciclo di lavoro dinamico. In questa fase, particolare attenzione sarà data alla progettazione e sviluppo del sistema di controllo e di calibrazione del sistema di acquisizione verificandone l'affidabilità e la ripetibilità della misura delle grandezze fondamentali in gioco.

Architettura del banco

Al fine di limitare i costi ed aumentare la versatilità della macchina, la scelta è quella di realizzare un unico banco prova, multifunzionale, dove poter effettuare tutte le prove descritte nel precedente paragrafo, compresa la possibilità di controllare le condizioni ambientali di esercizio (temperatura e umidità). Per permettere ciò, in funzione della tipologia di prove da effettuare, sarà necessario predisporre il banco in diverse configurazioni attrezzandolo con componentistica dedicata. In figura 1 viene mostrata un'immagine del banco nel suo insieme. Di seguito viene fornita una descrizione dettagliata del banco e dei suoi componenti suddivisi in gruppi funzionali come segue:

- Struttura portante elettrosaldata.
- Protezioni e barriere di sicurezza.
- Quadro rack, monitor + tastiera + mouse, scheda di controllo NI e SW Labview con grafici e visualizzazione dati, report, HMI operatore per invio dati PLC.

- Attuatori e sistema di supporto (fixture) per riprodurre la rigidità effettiva nel rispetto delle condizioni operative del ciclo di lavoro.

- Catena di misura.

- Box termico (a necessità).

La struttura portante, posizionata su quattro punti di appoggio con altezza regolabile, dovrà permettere l'alloggiamento di tutti i componenti meccanici, elettronici e di misura necessari alla realizzazione delle prove. La struttura portante dovrà inoltre disporre di un spazio dedicato al quadro elettrico, al sistema di alimentazione dell'attuatore da testare e del sistema di raffreddamento del motore elettrico lineare necessario, (figura 1).

La struttura realizzata è completa di barriere di protezione necessarie a garantire uno svolgimento in sicurezza delle prove. Queste sono costituite da una copertura realizzata in tubolari a sezione quadrata e pannelli trasparenti ad alta resistenza meccanica agli urti (Lexan) ed è dotata di un lato apribile per il controllo della prova e per il posizionamento ed ispezione dei componenti.

Come mostrato in figura 1, la parte elettrica è costituita da un quadro di controllo di tipo rack dove sono presenti: i componenti di interfaccia macchina-utente (monitor con mouse e tastiera), i componenti elettronici di azionamento dove la logica programmata PLC interconnessa assicura un funzionamento stabile e sicuro dei cicli di lavoro e dove una piattaforma NI (National Instruments) permette l'acquisizione dei dati e la gestione delle prove.

TAB. 1 - CARATTERISTICHE MOTORE LINEARE

PARAMETRI	VALORE
Forza massima di stallo	337 [N]
Corsa	90 [mm]
Forza massima di picco	1104 [N]
Massima velocità lineare	6,8 [m/sec]
Massima accelerazione lineare	603 [m/sec ²]

TAB. 2 - CARATTERISTICHE PROVE DINAMICHE

PARAMETRI	VALORE
Forza massima	1000 [N]
Massima velocità lineare	64 [mm/sec]
Minima velocità lineare	22 [mm/sec]
Corsa massima	84 [mm]
N° Cicli obiettivo	100000

TAB. 3 - CARATTERISTICHE PROVE STATICHE

PARAMETRI	VALORE
Forza massima	2250 [N]
Corsa massima	84 [mm]

TAB. 4 - CARATTERISTICHE TEST

PARAMETRI	VALORE TEST 1	VALORE TEST 2
Corsa [mm]	40	30
Velocità [mm/sec]	67	67
Carico resistente [N]	0,+100	-45,+45
Numero di cicli	3	10



Fig. 3 - Box termico.

In figura 2 vengono mostrati i componenti che costituiscono la catena cinematica del ciclo di lavoro e la catena di misura per il monitoraggio delle grandezze di interesse.

Tramite apposite fixtore l'attuatore da testare ed il generatore di carico resistente sono posizionati in contrapposizione con steli allineati giacenti su un asse orizzontale. Entrambi gli steli sono collegati, tramite snodi sferici, a una cella di carico funzionante in trazione e compressione in grado di leggere la forza scambiata dai due attuatori in ogni istante della prova. Questo meccanismo è posizionato su un sistema di pattini a sfera e rotaie che ne guidano il moto.

In questo modo si ha la garanzia che il moto sia puramente assiale e che alla cella di carico arrivi solamente la componente assiale della forza scambiata. Così, quando l'attuatore da testare viene azionato, impostando via software un ciclo di lavoro definito in spostamento, è possibile generare un carico resistente assiale che si contrappone al moto lungo tutta la corsa utile e il cui valore viene monitorato e retroazionato tramite la cella di carico.

L'idea di base è quella di realizzare un sistema che per le prove dinamiche funziona in modo passivo (il carico deve essere sempre contro il moto) mentre per le prove statiche (o quasi statiche) è in grado di applicare forze attive fino ai valori di carico ultimo in vari punti della corsa del sistema. La catena di misura è completa di una riga utilizzata per il plottaggio delle grandezze fondamentali in funzione della posizione assoluta degli steli lungo la corsa della prova e per verificare il

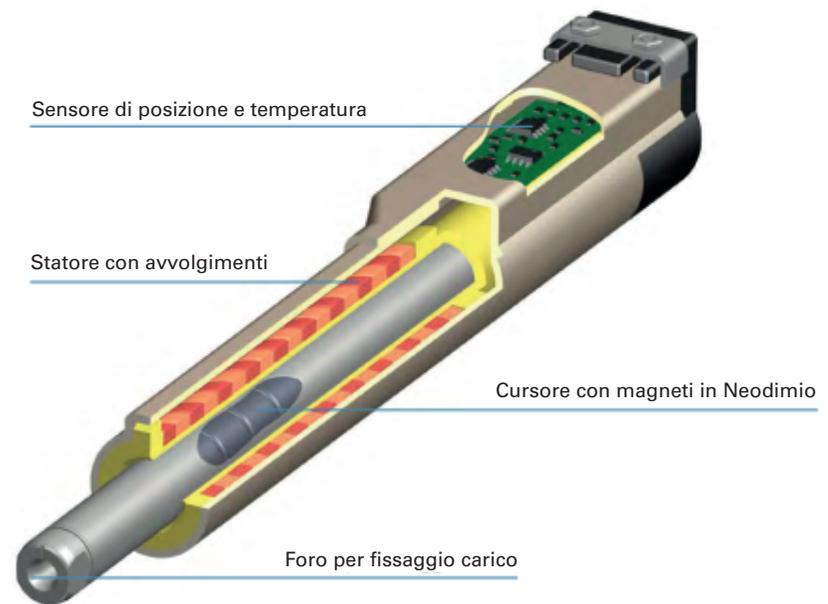


Fig. 4 - Motore lineare [12].

funzionamento del sistema di misura integrato negli attuatori da testare. Inoltre, per poter effettuare lo studio e la caratterizzazione del comportamento dell'attuatore al variare delle condizioni ambientali e per valutare la sua capacità nel dissipare energia termica, aspetto di cruciale importanza per il soddisfacimento dei requisiti richiesti ad attuatori di tipo aeronautico [9,10], è stato realizzato un box termico dedicato

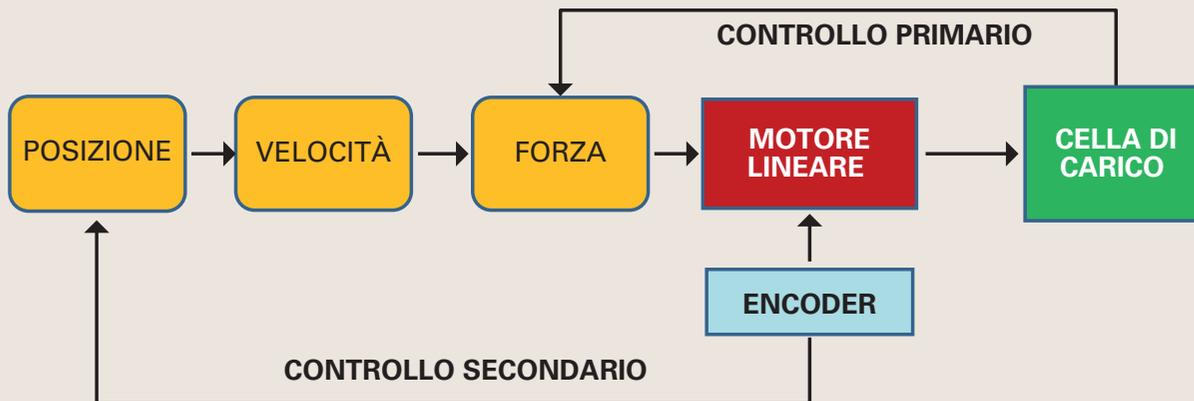


Fig. 5 - Logica di controllo motore lineare.

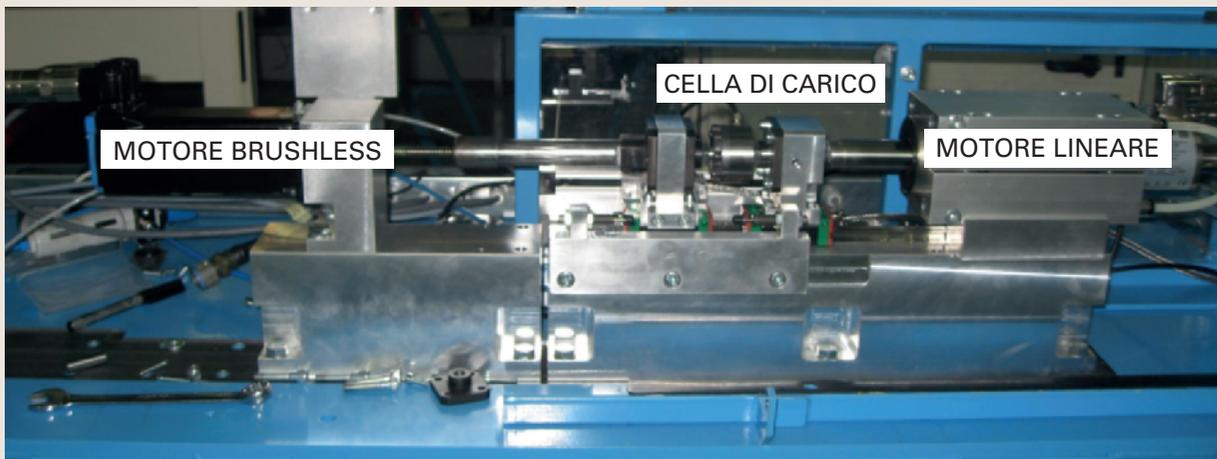


Fig. 6 - Test prove dinamiche.

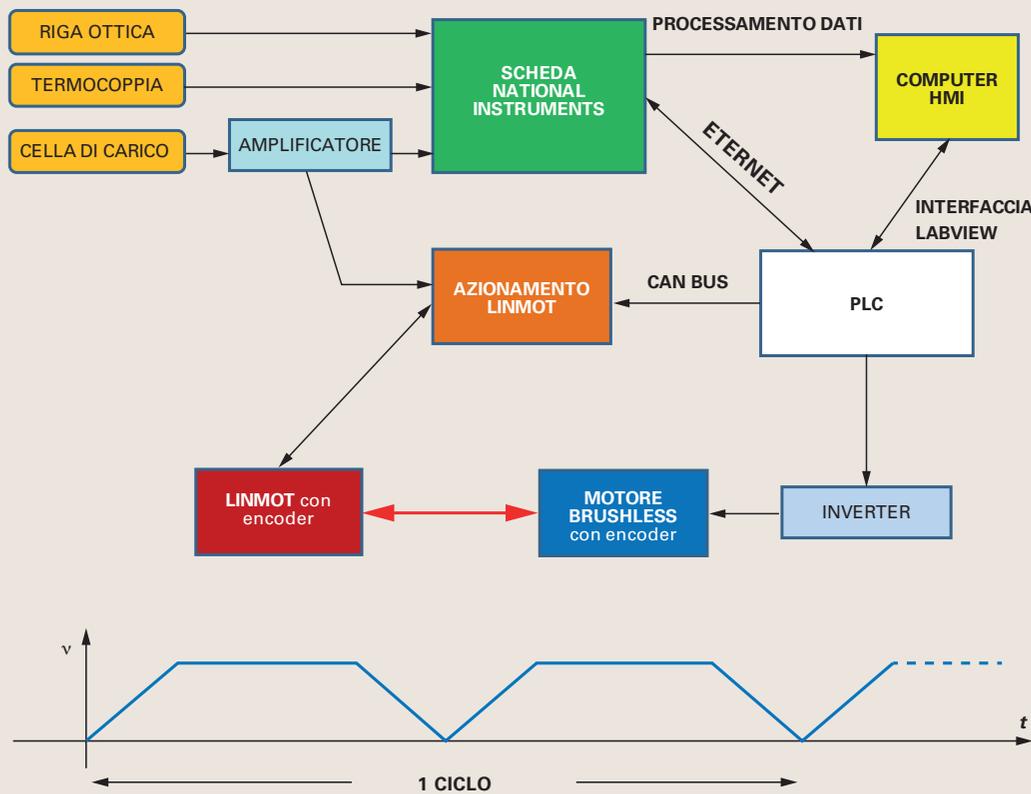


Fig. 7 -
a) Configurazione test prove dinamiche;
b) profilo di velocità imposto.

applicabile sia in caso di prove statiche che dinamiche. Il box termico dovrà prevedere anche l'alloggiamento dell'elettronica di azionamento dell'attuatore da testare. In particolare, i test di controllo ambientale racchiudono una serie di processi, come cicli termici rapidi e vibrazioni, applicati a tutti i componenti costituenti l'azionamento al fine di valutare possibili difetti di produzione latenti od altre anomalie [11]. Il box è costituito da una camera a doppia parete di lamiera con isolante minerale all'interno e sistema di accesso con doppia tenuta delle parti mobili. Il box è anche dotato di una finestra (a doppia lastra di Lexan) per permettere il controllo visivo della prova da parte dell'operatore.

Motore lineare

È il componente principale che caratterizza il principio di funzionamento e l'innovatività del banco. Si tratta di un motore elettrico lineare con encoder incorporato per il controllo in retroazione dello spostamento. Come mostrato in figura 4, il motore consiste di due sole parti: il cursore e lo statore. Il cursore è prodotto con magneti al neodimio inseriti in un tubo in acciaio inox di alta precisione. Nello statore sono collocati gli avvolgimenti, il cuscinetto per il cursore, il sensore di posizione e il sensore di temperatura per il monitoraggio termico del motore. Il principio di funzionamento è quello elettromagnetico: la forza elettromagnetica generata nell'avvolgimento statorico produce un movimento lineare dello nucleo magnetico. La presenza di un encoder incorporato in comunicazione diretta con uno specifico sistema di controllo permette di definire tutte e tre le caratteristiche di moto posizione, velocità e accelerazione garantendo un'elevata ripetibilità delle operazioni. A valle del controllo primario sulla posizione e sulle caratteristiche di moto è inoltre possibile realizzare un controllo in forza inviando all'azionamento un segnale di feedback esterno.

Come è possibile notare dai parametri descrittivi del motore lineare riportati in tabella 1, questi sono oggetti caratterizzati da elevatissime prestazioni dinamiche, in termini di condizioni di moto, e da limitate

prestazioni in campo statico, forza massima esprimibile. Il motore lineare scelto per la realizzazione del carico resistente è il modello Linmot PS10-70x160U che presenta le seguenti caratteristiche tecniche [12] scelte in funzione dei parametri principali delle prove da effettuare, che verranno descritti in seguito.

Caratteristiche limite delle prove

La caratterizzazione ed eventuale certificazione di un attuatore aeronautico passa attraverso una serie di prove di carattere sia statico che dinamico in accordo con gli elevati standard richiesti per queste applicazioni [4,5,6,11,13]. In questo paragrafo vengono riportati i valori limite dei parametri principali sia per le prove dinamiche che per quelle statiche da effettuare su attuatori aeronautici di piccole medie/dimensioni. Questi valori rappresentano anche i limiti di progetto sui quali ci si è basati per la progettazione del banco.

Le prove con carico dinamico sono principalmente volte alla verifica di resistenza a fatica (endurance) e alla verifica delle prestazioni in termini di frequenze di ciclo e reattività del sistema di controllo al fine di determinare il grado di affidabilità dell'attuatore inteso come la probabilità che il prodotto compia il funzionamento desiderato durante il periodo di funzionamento imposto in modo da eguagliare o superare le specifiche fornite dal produttore [13]. Le prove dinamiche realizzabili su questo banco sono caratterizzate da spostamenti ciclici lungo il grado di libertà del sistema e da carichi resistenti di valore costante o variabili nel tempo. Queste prove dovranno essere caratterizzate dai parametri limite riportati in tabella 2. Le prove statiche possono essere caratterizzate sia da carichi elevati che non. A seconda dei casi si avrà la necessità di allestire il banco in due diverse configurazioni.

Per le prove statiche con basso carico come quelle di backlash o irreversibility caratterizzate da carichi relativamente modesti il motore elettrico lineare è in grado di esprimere attivamente la forza necessaria e pertanto può essere utilizzato senza alcuna restrizione.

→ segue a pagina 36

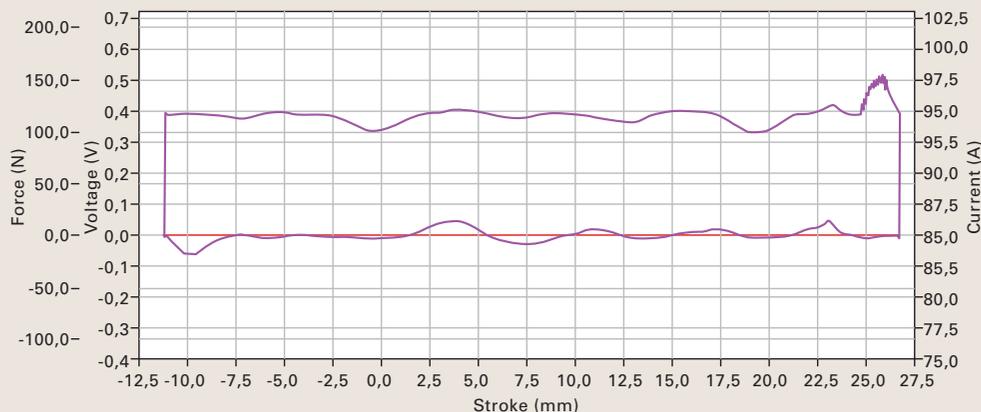


Fig. 8 - Risultati test 1.

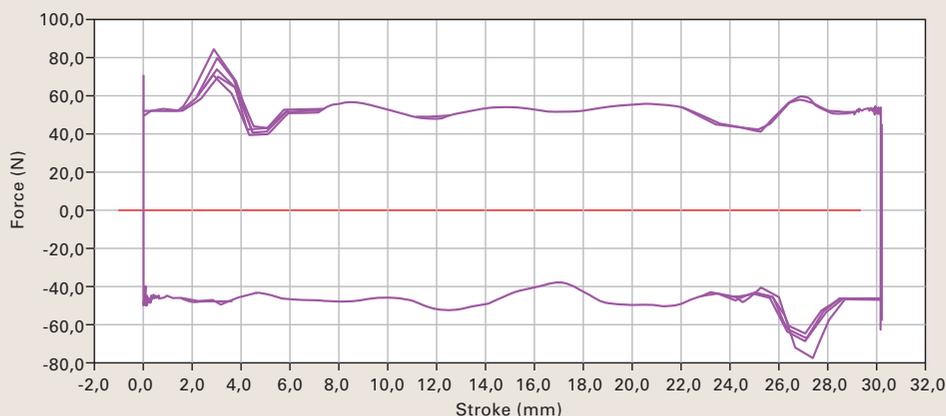


Fig. 9 - Risultati test 2.

Mentre nelle prove di carico limite e carico ultimo caratterizzate da valori di forza piuttosto elevati, il motore lineare dovrà essere sostituito da un pistone pneumatico in grado di esprimere il carico massimo richiesto. In questo caso le prove con carico statico potranno essere caratterizzate dai valori limite, riportati in tabella 3. Sia le prove di carattere dinamico che quelle statiche dovranno poter essere eseguite in ambiente a temperatura controllata in un range che varia fra -60°C e $+80^{\circ}\text{C}$ e un livello di umidità relativa di circa 50%. Per questo motivo è stata realizzata un'attrezzatura specifica da montare sul banco che permette l'esecuzione sia delle prove statiche che dinamiche [11].

Definizione del controllo del motore lineare

In questa applicazione, e soprattutto nelle prove di carattere dinamico, il problema principale nel progettare e realizzare il sistema di controllo per la generazione del carico resistente è diretta conseguenza della particolare tipologia di attuatori da dover testare.

Questo tipo di attuatori sono caratterizzati da specifici sistemi di protezione legati prevalentemente a ragioni di sicurezza e affidabilità di funzionamento che ne rendono difficoltosa la gestione e utilizzo in un sistema come quello precedentemente descritto: accoppiamento diretto con un attuatore come generatore passivo di carico resistente.

Una prima problematica è che nella maggior parte dei casi si tratta di attuatori irreversibili con sistemi di blocchi meccanici interni che impediscono lo spostamento assiale dello stelo, a meno di comandi diretti, che risulta essere bloccato anche se soggetto a forze esterne.

Questo rende impossibile controllare gli spostamenti od il posizionamento del sistema accoppiato azionando il motore lineare che risulta essere sempre subordinato al posizionamento imposto dall'attuatore. Quindi devono essere pianificate specifiche operazioni di set-up delle prove, controllo degli arresti di emergenza, procedure di azzeramento

e ri-posizionamento del sistema. Una seconda problematica risiede nel fatto che gli attuatori ad uso aeronautico sono gestiti da un'elettronica dedicata di tipo "chiuso", dove la definizione e gestione dei parametri di controllo non sono sempre accessibili e sovente il sistema può essere azionato esclusivamente definendo una funzione di spostamento. Inoltre l'unico parametro disponibile in grado di descrivere il comportamento dell'attuatore aeronautico è la corrente assorbita. Come conseguenza di questi due aspetti si ha che durante le prove il motore lineare non può essere comandato in spostamento ma solo in forza. Da qui nasce l'esigenza di definire un algoritmo di controllo del motore lineare molto performante che, soprattutto nei tratti di inversione del moto, eviti di generare dei sovraccarichi all'attuatore aeronautico che ne potrebbero causare l'arresto od il danneggiamento.

Questa problematica trova la sua condizione peggiore nel caso in cui si ha la necessità di definire il carico resistente come una variabile funzione della corsa del sistema. Queste problematiche sono state superate attraverso una logica di controllo che prevede una retroazione in forza come controllo primario ed un controllo sulla posizione come limitatore del moto in casi di emergenza. Uno schema concettuale della logica di controllo implementata è riportato in figura 5.

Configurazione test per l'analisi delle prestazioni del banco

Per verificare le potenzialità del banco nell'eseguire le prove di carattere dinamico e per poter sviluppare un adeguato sistema di controllo del motore lineare è stata sviluppata un'apposita campagna di prove. In questo caso la configurazione del banco prevede l'utilizzo del motore lineare (carico resistente) in contrapposizione a un motore brushless commerciale che esegue il ciclo di lavoro definito attraverso una funzione di spostamento. Questo sistema è rappresentato in figura 6.

→ segue a pagina 38

Grazie a questa configurazione, con motore brushless controllato in retroazione sulla posizione ed avendo quindi a disposizione il valore di spostamento letto dall'encoder interno, è stato possibile generare condizioni di moto note e del tutto simili a quelle di classici attuatori aeronautici, lungo tutta la corsa del ciclo di lavoro rendendo possibile l'ottimizzazione del sistema di controllo del motore elettrico lineare. Questa fase è piuttosto delicata, infatti se il motore lineare dovesse esprimere il carico nello stesso verso del moto dell'attuatore da testare si potrebbe rischiare di perdere di controllo sulla posizione che, qualora avvenisse in prossimità dei limiti della corsa prevista, porterebbe il sistema ad urtare sui finecorsa meccanici con conseguenti arresti di emergenza della prova o possibili rotture degli organi interni dell'attuatore da testare. Per questi test funzionali il ciclo di lavoro è stato imposto al motore brushless tramite un inverter programmabile comandato dal PLC in grado di regolare la corrente di alimentazione in accordo con un algoritmo in retroazione che ha in ingresso il segnale di posizione dello stelo del motore letto dall'encoder incorporato nel motore stesso. Mentre il motore lineare viene gestito dal proprio azionamento che, grazie ad apposite istruzioni fornite dal PLC via can bus e al segnale inviato dall'amplificatore della cella di carico, è in grado di controllarne il funzionamento con un algoritmo in retroazione sulla forza espressa. In figura 7a viene rappresentato lo schema logico di funzionamento della parte elettronica per questa configurazione del banco.

Risultati dei test

Queste prove hanno permesso la caratterizzazione e la verifica di funzionamento del motore lineare lungo tutta la corsa del ciclo di lavoro. In questo modo è stato possibile verificare il sistema di controllo del motore lineare anche nel campo di spostamenti dove si realizza l'inversione del moto. A dimostrazione di ciò, di seguito riportiamo i risultati ottenuti in due prove che si differenziano per il valore del carico resistente imposto e per il valore della corsa che definisce il campo di spostamenti del sistema. Il moto è stato determinato dal motore brushless controllato in spostamento, sulla misura dell'encoder integrato, al fine di ottenere un profilo di velocità trapezoidale, come mostrato in figura 7b. I parametri principali di queste prove sono riportati nella tabella 4: dove il segno sul valore della forza è relativo alla misura della cella di carico (+ compressione - trazione).

Analizzando i risultati del test 1, mostrati in figura 8 che riportano il valore della forza letta dalla cella di carico in funzione dello spostamento indicato dalla riga ottica, è possibile notare come il motore lineare sia in grado di eseguire il ciclo di lavoro esprimendo una forza quasi costante che si oppone al moto del motore brushless lungo tutto il ciclo di lavoro. La differenza fra il valore desiderato e quello misurato rappresentato

dalle oscillazioni è da imputarsi al controllo e raggiunge valori massimi, nei punti di inversione del moto, di circa $\pm 10\%$.

Questo risultato è comunque da considerarsi accettabile se si pensa alla difficoltà di realizzare un controllo sulla forza del motore lineare che deve tenere in considerazione sia le variazioni di moto dovute al controllo sul posizionamento del motore brushless che gli errori di misura intrinseci ed i tempi di risposta dei sensori di forza e spostamento utilizzati. Inoltre è possibile notare come l'oscillazione massima si registra nei punti di inversione del moto dove le variazioni di condizioni dinamiche e gli effetti inerziali del sistema sono maggiori rendendo più difficile la realizzazione di un controllo stabile e preciso.

In figura 9 vengono mostrati i risultati relativi alle condizioni operative corrispondenti al test 2. Queste prove sono state effettuate facendo muovere il sistema per 10 cicli consecutivi lungo il percorso impostato. Come è possibile notare si vede una buona ripetibilità delle prove, aspetto sicuramente incoraggiante che conferma ancora una volta la bontà delle scelte effettuate nella realizzazione del banco, delle performance della catena di misura e del sistema di controllo PID sviluppato per comandare il motore lineare.

Conclusioni

In conclusione è possibile affermare che, grazie alla collaborazione fra CIMIS ed Excogita S.r.l., è stato progettato e realizzato un banco prova multifunzionale per il testing di attuatori aeronautici lineari in grado di permettere test di verifica in accordo con gli elevati requisiti richiesti da questo tipo di applicazioni. In particolare questo banco, grazie all'applicazione di un motore lineare come generatore di carico resistente, si presta a effettuare varie tipologie di prove sia di carattere statico che dinamico. Successivamente alla realizzazione del banco è stata condotta una campagna di prove volte a verificarne le funzionalità e le performance, con particolare attenzione al sistema di controllo del moto e della forza antagonista generati dal motore lineare.

Il buon esito delle prove ha confermato la bontà delle scelte effettuate in fase di progettazione, soprattutto riguardo le performance ottenibili dal motore lineare magnetico, mentre la ripetibilità dei risultati ha evidenziato una buona affidabilità del sistema di controllo implementato. Ulteriori sviluppi di questa attività riguarderanno l'esecuzione di prove specifiche su attuatori attualmente utilizzati in sistemi aeronautici. Inoltre verrà condotta una seconda campagna di prove in ambiente controllato per verificare il funzionamento della camera climatica.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Articolo presentato al 45° Convegno Nazionale AIAS, 7-10 Settembre 2016 – Università degli Studi di Trieste - AIAS 2016 – 668.

AIAS – ASSOCIAZIONE ITALIANA PER L'ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

BIBLIOGRAFIA

[1] F. Vagnarelli, "Impianti aeronautici – Elementi di affidabilità e controllo di qualità", Vol. IV, IBN Editore.

[2] G. Di Rito, E. Denti, R. Galatolo, "Robust force control in a hydraulic workbench for flight actuators", Proceedings of the IEEE Joint Conference CCA, ISIC and CACSD, Munich (Germany), October 2006, ISBN 0-7803-9797-5.

[3] G. Di Rito, "Experimental implementation of a motion-compensated force control in a hydraulic workbench for flight actuators", Proceedings of the 3rd International Conference on Recent Advances in Aerospace Actuation Systems and Components, Tolosa (Francia), Giugno 2007, pp. 51-57, ISBN 978-2-87649-053-6.

[4] US Army, "Aeronautical Design Standard Handbook:

Rotorcraft and Aircraft Qualification (RAQ) Handbook", 21 October 1996.

[5] ASC/EN, "Airworthiness Certification Criteria Expanded Version of MIL-HDBK-516B", September 2005.

[6] US Department of Defence, "Handbook for reliability test methods, plans and environments for engineering development, qualification, and production – MIL-HNDBK 781A", 14 Luglio 1987.

[7] A. Denning, "Applied R&M Manual for Defence Systems", Maggio 2012.

[8] RTCA-DO-160C, "Environmental conditions and test procedures for airborne equipment", 28 Febbraio 1975.

[9] G. Di Rito, "Experiments and simulations for the study of temperature effects on the performances of a fly-by-wire hydraulic actuator", Proceedings of the Institution

of Mechanical Engineers, Part I, Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 225, No. 18, Dec. 2011, pp. 1195-1206, ISSN 0959/6518 [Published online before print July 29, 2011].

[10] R.N. El-Khoury, "The all-electric aircraft", Politecnico di Milano, corso di laurea in Ingegneria Aerospaziale, Anno accademico 2008/2009.

[11] US Department of Defence, "Environmental stress screening (ESS) of electronic equipments – MIL-HNDBK 344A", 20 Ottobre 1986.

[12] LinMot, "Linear motor data sheet", <http://www.linmot.com>.

[13] G. S. Wessmann, "Reliability verification testing and analysis in engineering design", CRC Press, 27 Novembre 2002.