ISSN 0030-4905

ORGANI DI TRASMISSIONE

comandi e azionamenti

ORGANO UFFICIALE
ASSOCIAZIONE ITALIANA COSTRUTTORI ORGANI DI TRASMISSIONE

In questo numero

Sperimentazione
Un moderno banco prova per organi di trasmissione

Progettazione
Analisi FEA di accoppiamenti per attrito

Trasmissioni
L'influenza del cambio sul consumo di carburante

Ingranaggi
Ottimizzazione di ruote dentate in plastica

tecniche nuove

MENSILE - Anno 30 - N° 10 - novembre 1999 - Sped. in Abb. Post. - 45% - art. 2 Comma 20/b Legge 662/96 - Filiale di Milano

VIENE DESCRITTO UN BANCO PROVA A CIRCOLAZIONE DI POTENZA, DOTATO DEI PIÙ AGGIORNATI E MODERNI SISTEMI DI CONTROLLO E MISURA, ADATTO A RICERCA, PROVE, COLLAUDO SU ORGANI E COMPONENTI DI TRASMISSIONE E SU TRASMISSIONI COMPLETE.

Un moderno banco prova

PER ORGANI DI TRASMISSIONE

Giulio Belloni, Piermaria Davoli
Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano

Sergio Verbena
Centro Laboratori per la Didattica Sperimentale Facoltà di Ingegneria (Bovisa) Politecnico di Milano

La necessità di affiancare, nello studio e nella progettazione di trasmissioni complete e di componenti per la trasmissione meccanica di potenza, la verifica e il collaudo sperimentali ai calcoli di dimensionamento è un'esigenza che il recente sviluppo di strumenti sempre più potenti di modellazione, di calcolo e di simulazione non ha cancellato.
Anche le esigenze della sperimentazione sono, nel frattempo, cambiate: non più disegnare, produrre il prototipo, e sperimentare per vedere sul banco se le cose vanno bene, o no; bensì studiare molto più a fondo il progetto e utilizzare il prototipo per una sperimentazione mirata ad aspetti specifici (dal rumore alle vibrazioni, dalla capacità termica al rendimento e così via). Ne consegue che i banchi prova sui quali condurre sperimentazione di questo tipo debbono essere studiati in modo da consentire prove specifiche su taluni parametri di particolare interesse.
Sulla base di questa esigenza è stato progettato un banco prova per organi di trasmissione (o più in generale per organi rotanti), che risponde ai più aggiornati sistemi di controllo e consente quindi esperienze mirate, eseguite in maniera automatizzata e ripetibile.

I banchi prova meccanici di potenza

Un banco prova per componenti e organi di trasmissione (riduttori, giunti di vario tipo, innesti, alberi, cinghie, catene, trasmissioni complete ecc.) deve essere in grado di fornire, opportunamente modulati nel tempo, due parametri:

velocità di rotazione in ingresso ω_2
coppia in uscita (frenante) C_f

il terzo parametro (velocità in uscita ω_f) è determinato dal rapporto di trasmissione dell'organo oggetto della prova, e può essere unitario (o unitario mediamente nel giro) nel caso di giunti (cardanici, omocinetici ecc), oppure diverso da uno per riduttori, giunti idraulici o convertitori di coppia (in questi due casi solo minore dell'unità), trasmissioni a cinghia e catena.
Il banco prova ideale quindi deve essere in grado di fornire, alla velocità voluta ω_e, una coppia sufficientemente elevata (provocata dall'azione frenante in uscita C_f) per poter sollecitare al livello desiderato il componente o la trasmissione di prova.
Dovrà quindi essere in grado di fornire due leggi, indipendenti l'una dall'altra, di funzionamento:

$$\omega_e = \omega_e (t)$$

$$C_f = C_f (t)$$

Lo schema a blocchi del banco è quello indicato in figura 1.
Per motivi di recupero energetico può essere opportuno che la potenza spesa nella frenatura non venga dissipata in calore ma possa essere ricircolata, in modo che il banco richieda all'esterno solo la potenza perduta per attrito.
Le soluzioni per un banco di questo tipo sono essenzialmente due:
• banco a dissipazione di potenza;

Figura 1 - Schema a blocchi di un banco prova meccanico di potenza.

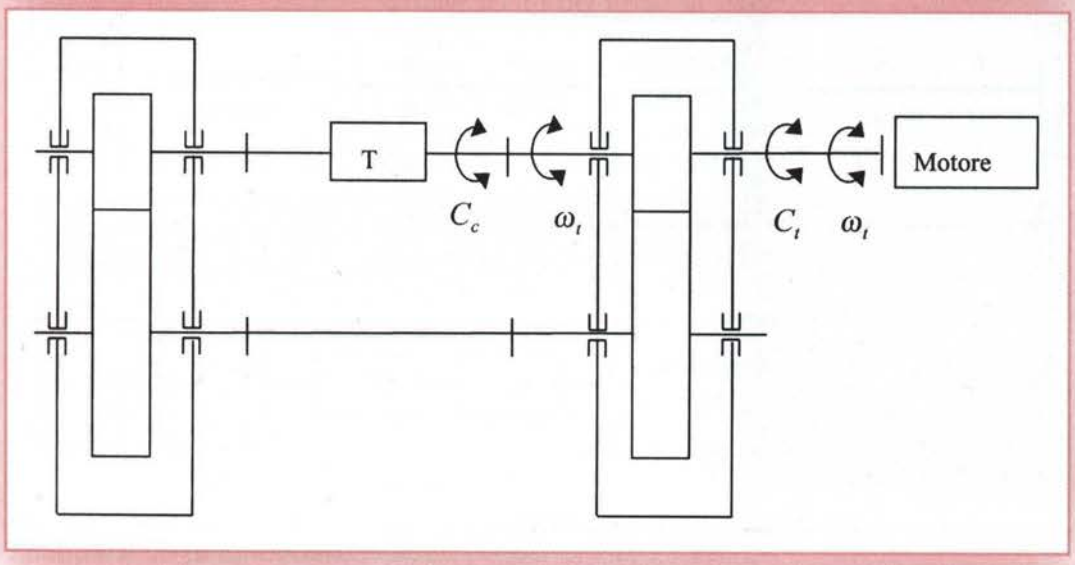


Figura 2 - Schema di un banco prova a circolazione meccanica della potenza con ingranaggi.

• banco a circolazione di potenza.

Nel primo tipo di banco, tutta la potenza prodotta dal motore, dopo essere transitata attraverso l'organo di prova, viene dissipata in frenatura e trasformata in calore.

Nel secondo tipo di banco invece la potenza viene fatta ricircolare in modo da richiedere all'esterno solo la potenza dissipata in attrito e in perdite di vario genere.

I banchi del primo tipo (a dissipazione di potenza) presentano una serie di vantaggi e di svantaggi che possono essere sintetizzati come segue.

Vantaggi: mancanza di effetti dinamici (risonanze ecc.) dovuti alla ricircolazione della potenza (se per via meccanica);

svantaggi: necessità di predisporre una potenza installata pari alla potenza totale, quindi talvolta elevata; dispendio energetico, che può essere pesante per prove di lunga durata.

I banchi del secondo tipo (a circolazione di potenza) hanno invece i seguenti vantaggi e svantaggi:

vantaggi: possibilità di far circolare una potenza elevata fornendo dall'esterno una potenza pari solo alle perdite (circa 5-10% della potenza circolante); basso dispendio energetico;

svantaggi: possibile presenza di effetti dinamici (risonanze ecc.) dovuti alla ricircolazione della potenza (se avviene per via meccanica);

La motorizzazione più diffusa, per molti evidenti motivi, è quella elettrica; può essere a corrente continua oppure con asincrono e inverter, che consentono, come è noto, la regolazione della velocità.

Limitandoci ai banchi a circolazione di potenza, le soluzioni possibili sono fondamentalmente due (tralasciamo le soluzioni oleodinamiche, che sono del tutto particolari):

1. circolazione meccanica della potenza (con due riduttori affiancati, classico schema delle prove di ingranaggi in circuito chiuso), figura 2;
2. circolazione elettrica della potenza, con motore a c.c. e dinamo-freno che rinvia in rete la potenza di frenatura, figura 3.

Rispetto alla prima, meccanica, la seconda soluzione, elettrica, supera il principale svantaggio della circolazione meccanica (possibilità di risonanze e vibrazioni chiuse nel circuito), mantenendo il vantaggio di recuperare gran parte dell'energia di frenatura e richiedendo quindi alla rete solo la potenza perduta per attrito.

La soluzione scelta: circolazione elettrica della potenza

Il banco-prova per organi rotanti e di trasmissione del nuovo Centro Laboratori per la Didattica Sperimentale della Facoltà di Ingegneria (Bovisa) è stato progettato per poter eseguire prove su organi di trasmissione dei più vari tipi (dai

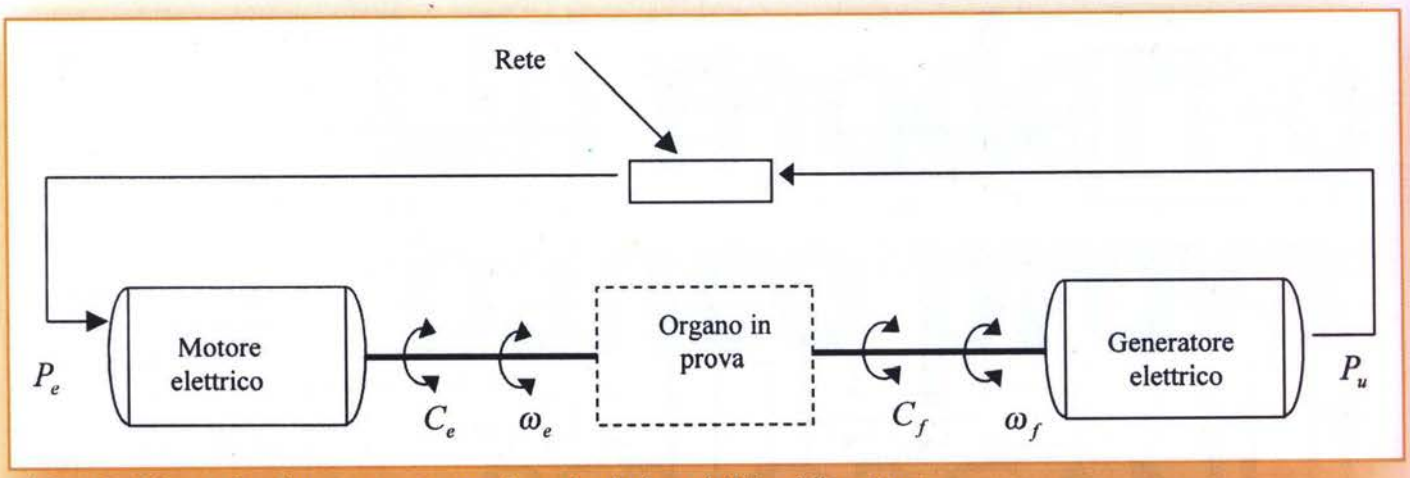
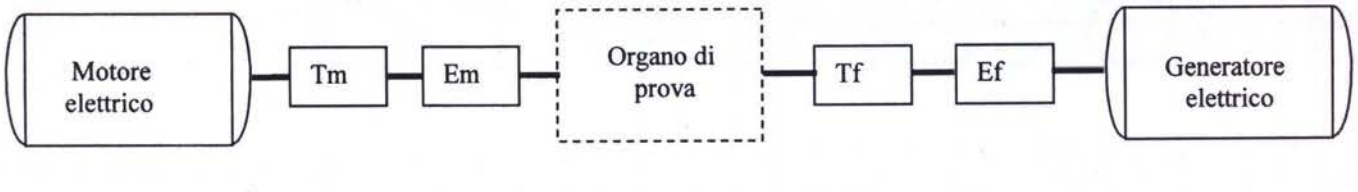


Figura 3 – Schema di un banco prova meccanico a circolazione elettrica della potenza.



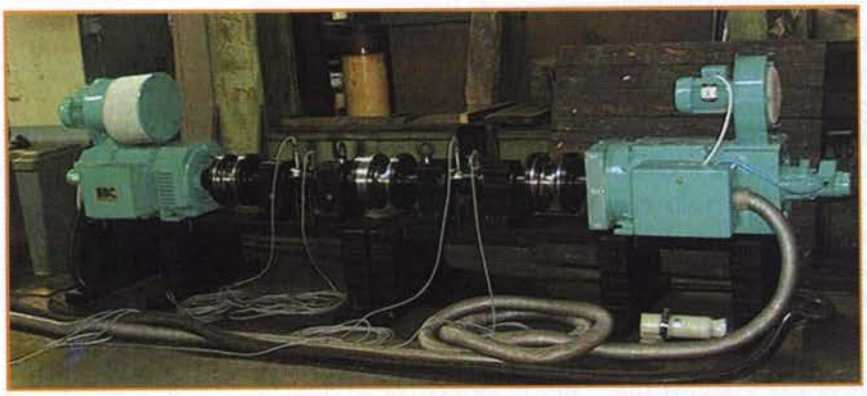


Figura 4 – Fotografia e disegno schematico del banco prova meccanico a circolazione della potenza che è stato realizzato.

giunti ai riduttori, alle cinghie, alle catene, alle trasmissioni complete), nei limiti della potenza massima installata.

I punti fermi del progetto sono dunque stati:

- elevata flessibilità di utilizzo;
- basso consumo energetico (per prove di lunga durata);
- sistemi di azionamento del banco e di misura delle grandezze meccaniche dell'ultima generazione;
- sistemi di acquisizione dati e gestione delle prove via PC.

La scelta, anche in base a precedenti esperienze di banchi simili (vedi [1] e [2]) e a quanto riportato in letteratura (vedi [3] e [4]) è dunque caduta su un banco (figure 4 e 5) formato da un motore c.c. da 31,4 kW nominali e da una dinamo-freno da 30 kW nominali.

Il motore funziona in controllo di coppia (ossia a coppia costante) fino a 200 rad/s (circa 2.000 giri/min), indi a potenza costante, come appare dalla curva rilevata in sede di collaudo e riportata in figura 6.

Il controllo dell'azionamento prevede il ricircolo della potenza elettrica generata dalla dinamo di frenatura, in modo tale da richiedere alla rete solo la potenza dissipata dall'organo soggetto alla prova.

In tabella I sono riportati i principali dati di targa del banco.

TABELLA I - PRINCIPALI DATI DI TARGA DEL BANCO PROVA

Potenza nominale motore c.c.	31,8 kW
Potenza nominale dinamo freno	30,0 kW
Velocità di rotazione massima motore e freno	314 rad/s (3.000 giri/min)
Coppia massima nominale fino a 210 rad/s (2.000 giri/min)	130 Nm
Potenza massima effettiva del motore	28,8 kW
Capacità torsiometri (motore e freno)	250 Nm

Controllo, gestione e acquisizione dati

Il banco prova è stato realizzato per poter essere utilizzato in tre modalità differenti:

1. in circuito chiuso;
2. come motore;
3. come freno.

La prima modalità prevede che il motore azioni l'organo in prova, che è poi frenato dalla dinamo. In queste condizioni il sistema agisce in controllo di velocità (velocità imposta al motore) con la coppia frenante voluta, imposta dal freno, nei limiti della curva di figura 6.

È possibile invertire (anche in corso di prova) il verso di rotazione del motore; la coppia frenante, sempre opposta al verso di rotazione dell'albero d'uscita, si inverte automaticamente. Si tratta di una modalità tipica delle prove di componenti di trasmissione (riduttori, giunti, innesti, alberi) che sono attraversati da una coppia data a una data velocità, e che vanno quindi frenati secondo date leggi $C_f(t)$.

La seconda modalità prevede l'utilizzo del solo motore, ed è tipica di prove su azionamenti a velocità imposta con una data legge (nei quali la coppia non è elemento di interesse, quindi che non devono essere frenati); il motore agisce come un qualsiasi motore in controllo di velocità, con coppia qualsiasi entro il valore massimo consentito dalla curva di figura 6. Questa modalità può essere utilizzata anche come elemento di un banco a dissipazione di potenza, se l'organo azionato (per esempio un freno) è di per se stesso un dissipatore.

La terza modalità prevede l'utilizzo del solo freno, quindi con coppia frenante imposta secondo una legge voluta; è tipica di prove di motori di qualsiasi tipo, che richiedono solo di essere frenati.

Le modalità di controllo sono due: manuale e via PC.

Il controllo manuale è basato sulle scelte del verso di rotazione, del valore della velocità del motore e della coppia frenante del freno, selezionabili tramite potenziometri sul pannello di comando (figura 7 in alto). Appositi indicatori digitali mostrano il valore delle velocità del motore e del freno, della coppia motrice e

Figura 5 (a destra) – Apparato di azionamento e di controllo del banco prova.

Figura 6 (sotto) – Curva coppia-velocità rilevata sul banco prova (nei due versi di rotazione; la coppia è quella erogata dal motore).

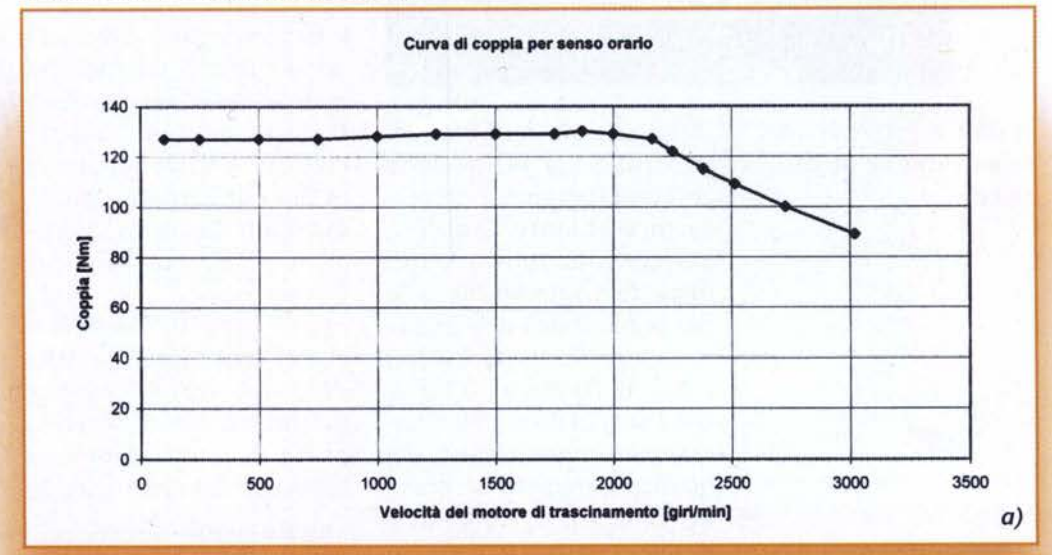


Figura 7 – Quadro di azionamento e acquisizione.

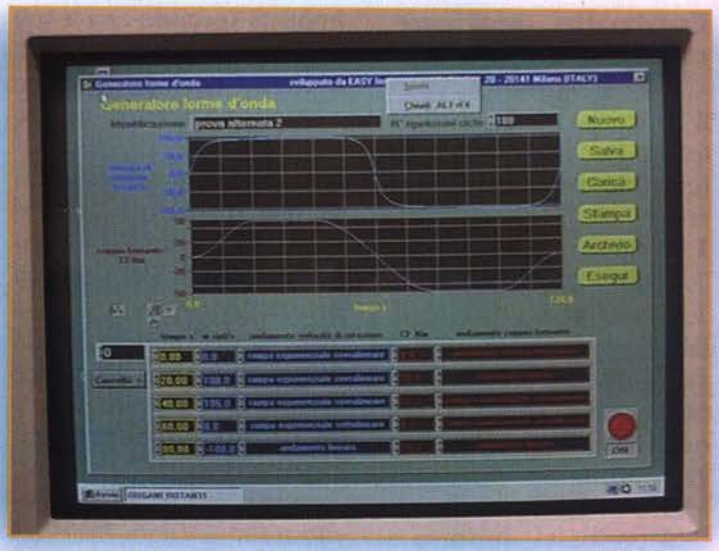


Figura 8 – Schermata del software dedicato per il controllo e l'acquisizione dati.

della coppia frenante. Il controllo via PC avviene con un programma dedicato in ambiente LabView, che consente tutte le possibilità del controllo manuale più la possibilità di effettuare cicli prefissati $\omega_e = \omega_e$ (t) e $C_f = C_f$ (t); inoltre è possibile l'acquisizione dati a frequenze programmabili dei quattro parametri di prova ω_e (t), ω_f (t), C_e (t), C_f (t) e di altri quattro segnali (figura 8).

Dal punto di vista della strumentazione, il banco è attrezzato con due torsiometri (uno in uscita dal motore, l'altro in ingresso del freno) di capacità maggiorata (250 Nm) e dotati di encoder per il rilievo preciso della velocità di rotazione.

Il motore e il freno poggiano su sopporti indipendenti, posizionabili a piacere su piastre per realizzare l'interasse e la disposizione necessarie per l'organo oggetto della prova; anche l'altezza d'asse del motore e del freno sono regolabili a piacere.

Conclusioni

Il banco prova a circolazione elettrica di potenza che è stato realizzato consente di effettuare studi, ricerche, collaudi e sperimentazioni di vario tipo su componenti e organi di trasmissione, nonché su trasmissioni complete.

Le sue peculiari caratteristiche (circolazione elettrica della potenza) lo rendono particolarmente adatto a prove di lunga durata, di collaudo, di ricerca e studio sia in condizioni di erogazione costante della coppia e della velocità sia in condizioni di coppia e velocità variabile. Esso è anche concepito per una didattica sperimentale avanzata su componenti e organi di trasmissione.

■

Questo banco è stato realizzato dalla Easy Instruments di Milano per la parte di azionamento (elettronica), di controllo ed acquisizione dati; dalla CCM di Sammacario di Samarate per la parte meccanica.

Bibliografia

[1] P. Davoli, A. Pettenon, "Un metodo sperimentale per l'analisi delle sollecitazioni lungo i denti delle ruote dentate", in "Organi di Trasmissione", marzo 1981.

[2] P. Davoli, "La resistenza degli ingranaggi in plastica: apparato di prova e prime sperimentazioni", in "Organi di Trasmissione", ottobre 1987.

[3] D. Hochmann, D.R. Houser, "An experimetal test stand for measurements on loaded parallel axis gears", Int. Conference on gearing, Newcastle, 1994.

[4] K. Umezawa, H. Houjoh, S. Matsamura, "Experimental precise identification of dynamic behaviour of a helical gear system", VDI Berichte 1230, 1966, Int. Conference on Gearing, Dresden.