

La levitazione magnetica ad Experimenta

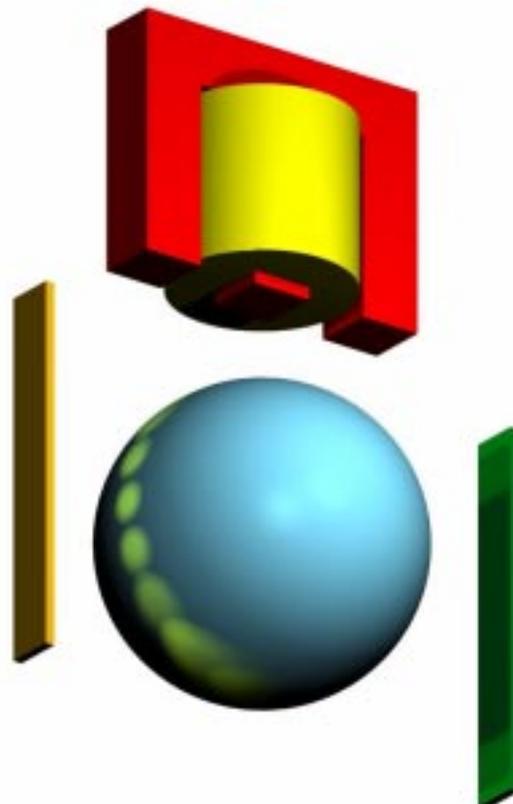
La possibilità di sfidare la gravità sospendendo senza contatto o facendo levitare oggetti ha da sempre affascinato la fantasia dell'uomo. Nel secolo scorso la scoperta dei fenomeni elettromagnetici ha aperto nuove strade, e molti inventori e scienziati si sono cimentati con questa nuova sfida: la levitazione magnetica. Sin da allora era chiaro che se era possibile usare forze magnetiche per ottenere la levitazione senza contatto, allo stesso tempo era molto difficile garantire la stabilità dell'equilibrio. Fu solamente con i progressi nel campo della scienza dei controlli automatici e dell'elettronica che fu possibile realizzare sospensioni magnetiche controllate, dotate cioè di un sistema di sensori che rilevano la posizione dell'oggetto sospeso e di un sistema di controllo in grado di pilotare gli amplificatori di potenza che alimentano gli elettromagneti di sospensione in modo da stabilizzarlo nella posizione voluta. Tali sistemi sono necessariamente attivi in quanto necessitano di una fornitura di potenza dall'esterno

La levitazione magnetica è oggi una realtà, anche se ancora confinata ad alcune applicazioni di nicchia; grazie alla sempre maggior potenza di calcolo ed alle continue riduzioni di costo dei sistemi digitali, essa diverrà sempre più competitiva con i sistemi convenzionali, sia per i mezzi di trasporto (treni a levitazione magnetica) che per le macchine rotanti (cuscinetti magnetici).

La possibilità di ridurre la resistenza al moto e di aumentare la velocità di rotazione permette la realizzazione di macchine più compatte, leggere e soprattutto di ridurre i consumi energetici. La riduzione delle esigenze di manutenzione potrà permettere una riduzione dei costi e l'assenza di lubrificanti avrà sicuramente vantaggi di tipo ambientale.

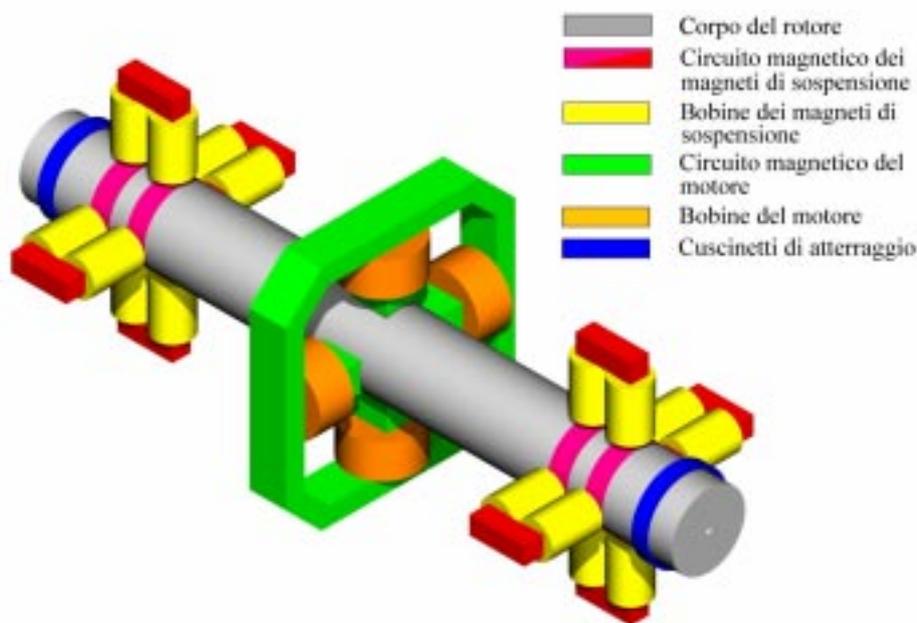
Ad Experimenta sono presenti due semplici dimostratori che permettono di vedere al lavoro i principi di base della sospensione magnetica attiva.

Il primo è un levitatore ad un asse attivo: un elettromagnete tiene sospesa una sfera di materiale ferromagnetico, mentre due sensori ottici ne rilevano gli spostamenti verticali. Un sistema di controllo analogico regola la corrente dell'elettromagnete per mantenere la sfera in una posizione prefissata. È inoltre possibile fornire al sistema una posizione variabile nel tempo: il levitatore mantiene ora la palla non più in una posizione fissa, ma le fa eseguire oscillazioni verticali controllate.



Il secondo dimostratore presente ad Experimenta è un motore elettrico il cui rotore è sospeso mediante un sistema cuscinetti magnetici. Otto elettromagneti di sospensione, pilotati da un controllore digitale che riceve a sua volta informazioni sulla posizione del rotore da quattro sensori ottici, mantengono il rotore in levitazione, ad una distanza di circa 5 mm dalle loro espansioni polari. Un motore asincrono, dello stesso tipo di quello realizzato più di un secolo fa da Galileo Ferraris per dimostrare il principio del campo magnetico rotante, lo mantiene in rotazione. Il sistema è dotato di due cuscinetti di atterraggio, semplici anelli metallici su cui il rotore si appoggia in caso di mancanza di alimentazione agli elettromagneti.

Bisogna notare che non si tratta di una vera macchina operativa, ma di un dimostratore, realizzato per rendere evidenti i principi di funzionamento della sospensione magnetica attiva dei rotori. Per ottenere una buona efficienza, la distanza tra elettromagneti e rotore (il traferro) dovrebbe essere circa un decimo di quella qui adottata, cosa che permetterebbe di usare elettromagneti molto più piccoli. Anche il motore elettrico dovrebbe essere dimensionato diversamente per ottenere una buona efficienza, ma i piccolissimi valori del traferro impedirebbero una immediata comprensione del funzionamento della macchina.



Le macchine sono state realizzate dall'Officina Meccanica e dal Laboratorio Interdisciplinare di Meccatronica del Centro di Servizi di Prototipazione del Politecnico di Torino. Il CSPP è un centro autonomo, che opera all'interno del Politecnico di Torino con lo scopo di fornire un supporto ai Dipartimenti del Politecnico e ad aziende esterne nel campo della prototipazione di sistemi meccatronici. Dato che la realizzazione di sistemi meccatronici coinvolge competenze in campo elettronico, meccanico ed automatico, il CSPP è stato recentemente creato a partire da un gruppo di ricercatori provenienti dai Dipartimenti di Meccanica, Elettronica, Ingegneria Elettrica ed Automatica e Informatica, insieme con l'Officina Meccanica del Politecnico. Le principali aree di attività del centro sono la progettazione e la realizzazione di sistemi elettromeccanici fortemente integrati (meccatronici) quali i cuscinetti magnetici e i sistemi a levitazione magnetica in generale, gli attuatori magnetici, i sistemi neurali, i sistemi di controllo basati su DSP, le strutture adattative ed intelligenti con attuatori piezoelettrici ed i robot mobili su zampe.

Levitazione magnetica

La possibilità di sfidare la gravità sospendendo o facendo levitare oggetti ha da sempre affascinato la fantasia dell'uomo.

L'uso di forze magnetiche di attrazione (sospensione magnetica) o di repulsione (levitazione magnetica vera e propria) permette di realizzare un supporto senza contatto.

Le applicazioni sono molte, dalla sospensione dei modelli in galleria del vento all'isolamento dalle vibrazioni. Le applicazioni più importanti sono quelle in cui l'oggetto sospeso è in moto: cuscinetti magnetici per le macchine rotanti e veicoli a levitazione magnetica.

Vantaggi: non vi è contatto fisico tra parti in movimento, e quindi non vi è né attrito né usura.

Si possono raggiungere velocità molto elevate e la potenza richiesta per il moto è molto minore di quella che si ha nelle soluzioni convenzionali. L'assenza di usura permette di aumentare la durata, riducendo i costi di manutenzione.

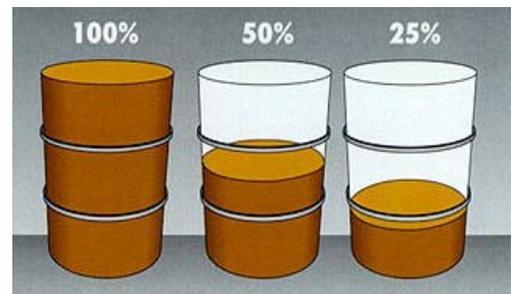
Non è necessario usare lubrificanti: in molti casi (macchine per l'industria alimentare e tessile, impianti a vuoto) i lubrificanti sono fonte di contaminazione.

I vantaggi principali sono quindi il **risparmio energetico** e la **riduzione dell'inquinamento**.

Le sospensioni magnetiche attive danno al progettista una grande libertà e rendono possibili soluzioni impensabili con le tecnologie convenzionali.



Treno a levitazione magnetica. Sistema completamente attivo Transrapid.



Aeroplano Autovettura Maglev

Consumi energetici di alcuni mezzi di trasporto.



Primo sistema Maglev commerciale (Birmingham).



Rotore di pompa turbomolecolare su sospensione magnetica.

La sospensione di un corpo ferromagnetico o di un magnete permanente in un campo magnetico costante è instabile (teorema di Earnshaw). Per ovviare a tale instabilità è possibile ricorrere a varie configurazioni

- Sistemi passivi: non richiedono sistemi di controllo.
 - Sospensione ibrida meccanica-magnetica: stabilizzazione mediante un sistema meccanico; non è completamente senza contatto.
 - Sospensione diamagnetica ed a superconduttori: sfrutta le caratteristiche di tali materiali; richiede fortissimi campi magnetici o bassissime temperature.
 - Sospensione elettrodinamica: richiede forti velocità e produce resistenze al moto più elevate. Usata per il treno a levitazione magnetica giapponese che ha raggiunto i 575 km/h.
 - Sospensione con stabilizzazione giroscopica: poco stabile; non utilizzata in applicazioni pratiche.
- Sistemi attivi: richiedono un sistema di controllo che mantiene una posizione di levitazione stabile misurando la posizione e facendo variare il campo magnetico di sospensione.
 - Sospensione parzialmente attiva: sospensione attiva in alcune direzioni e passiva in altre.
 - Sospensione totalmente attiva: più complessa, ma sfrutta appieno i vantaggi della levitazione magnetica. Il treno a levitazione magnetica Transrapid (che ha raggiunto i 435 km/h) e la pompa turbomolecolare il cui rotore è mostrato in figura utilizzano questo sistema.



I due dimostratori esposti ad EXPERIMENTA sono stati realizzati dall'Officina Meccanica e dal Laboratorio Interdisciplinare di Meccatronica del Centro Servizi di Prototipazione del Politecnico di Torino. Hanno collaborato alla realizzazione: Nicola Amati, Andrea Argondizza, Eugenio Brusa, Stefano Carabelli, Marcello Chiaberge, Andrea Delmastro, Cristiana Delprete, Giancarlo Genta, Giuseppe Gianolio, Giovanni Griva, Eduardo Miranda, Francesco Muraglia, Marco Muzzarelli, Costantino Rocco, Andrea Tonoli, Pietro Trocino, Wang Seng Chee.



Levitatore magnetico

Il levitatore magnetico realizza il principio della sospensione magnetica totalmente attiva: tutta la forza necessaria a sospendere la sfera è sviluppata da un elettromagnete.

Un elettromagnete sviluppa una forza che cresce al crescere della corrente che scorre nella bobina e diminuisce al crescere della distanza rispetto all'oggetto da sospendere.

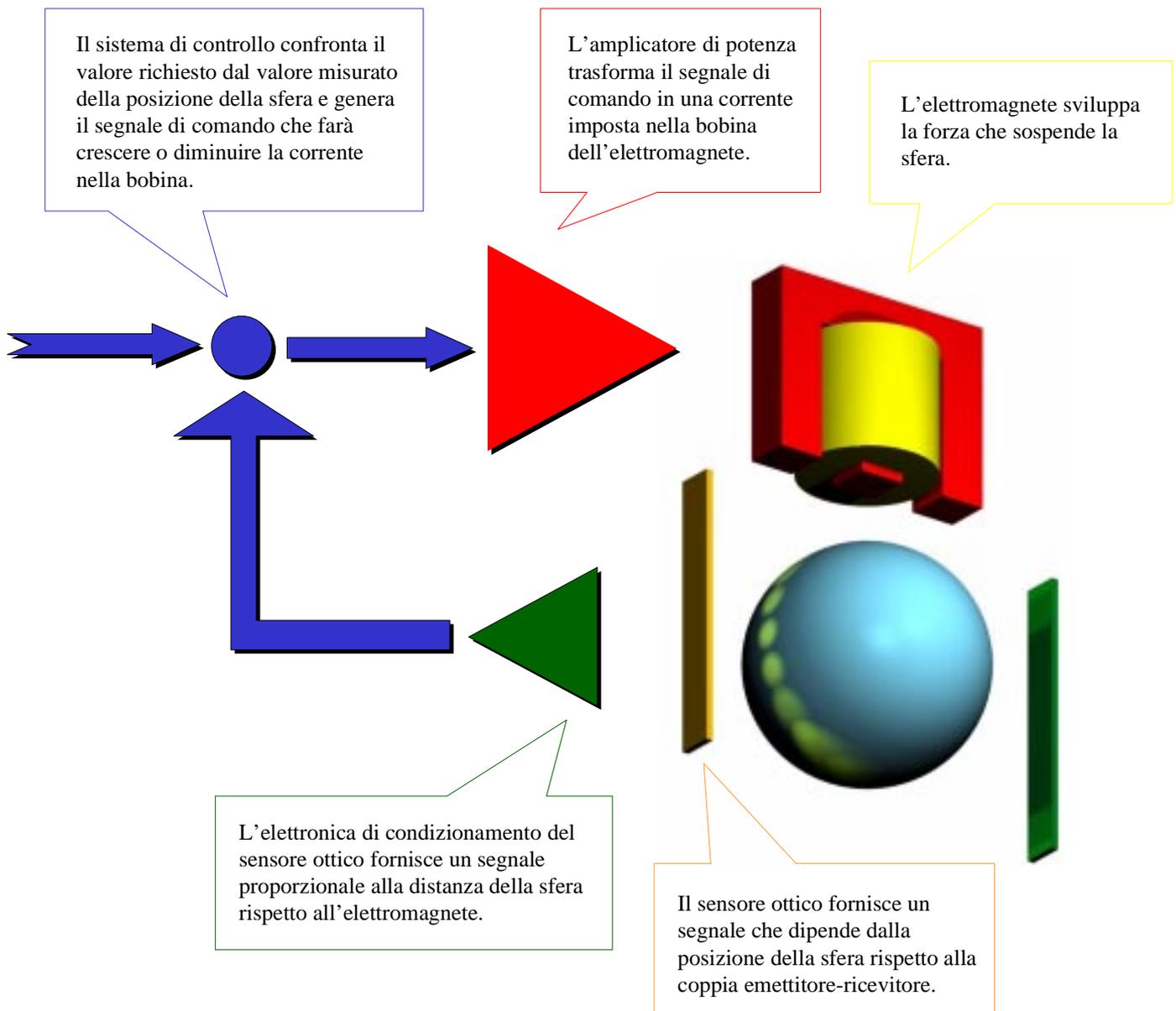
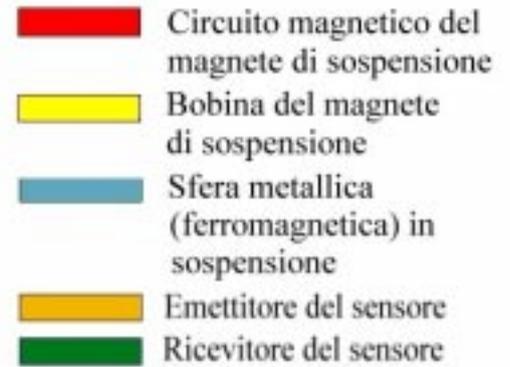
Se la corrente è costante, l'elettromagnete si comporta come una normale calamita: fino ad una certa distanza la sfera metallica viene attratta e tende ad appiccicarsi alla calamita mentre per distanze superiori l'attrazione non è sufficiente e la sfera cade. E' quello che viene detto un sistema instabile.

Per mantenere stabilmente la sfera ad una distanza prefissata è necessario variare opportunamente la corrente dell'elettromagnete: se la sfera si allontana occorre rapidamente aumentarla, se si avvicina occorre diminuirla.

Tale "aggiustamento" della corrente deve però essere ripetuto almeno un centinaio di volte ogni secondo. Da ciò la necessità che tale controllo sia automatizzato con l'impiego dell'elettronica.

Una volta "stabilizzata" la sospensione magnetica per mezzo del sistema di controllo automatico è possibile variare la posizione della sfera facendole compiere un movimento voluto.

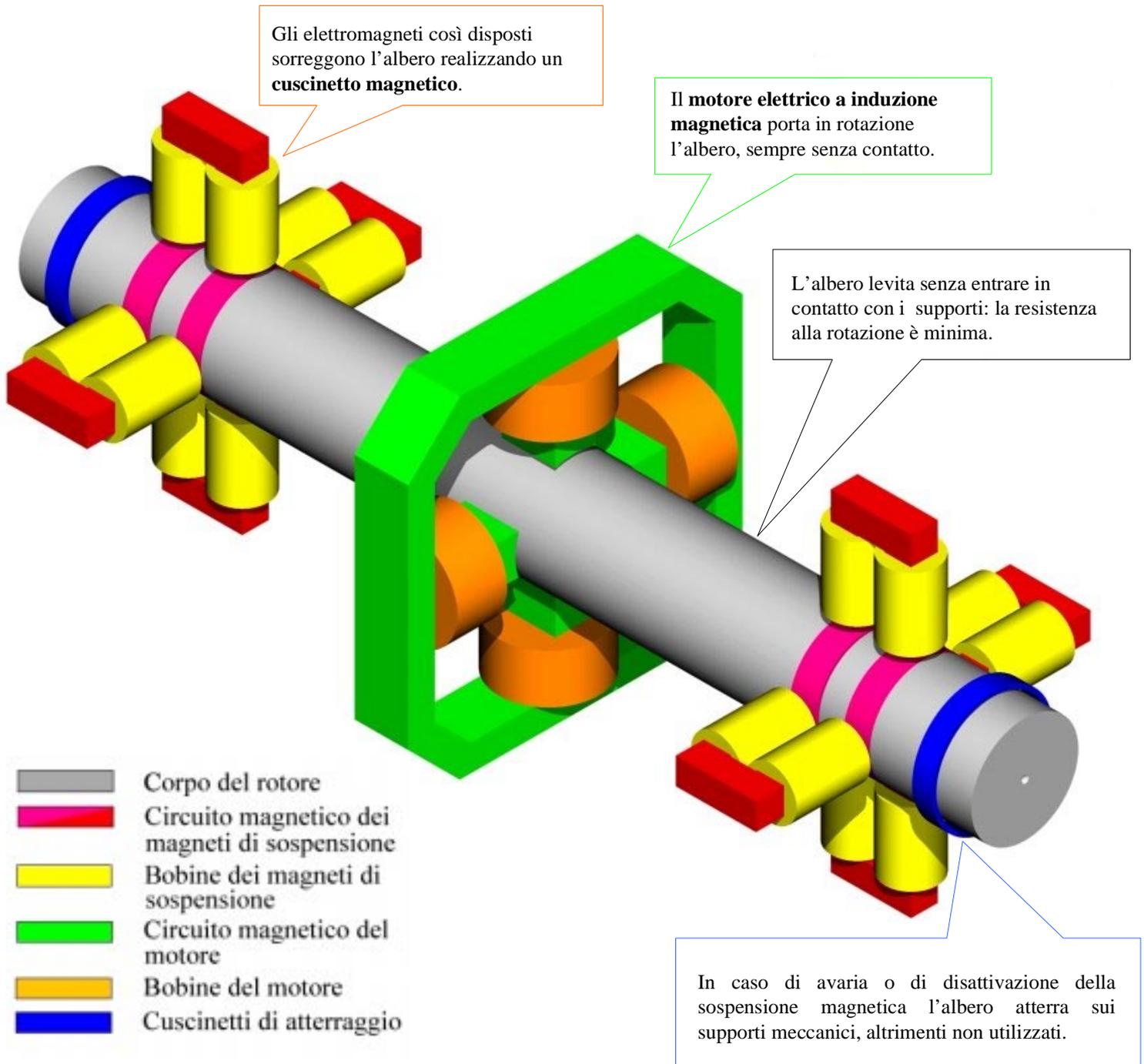
Inoltre la sospensione magnetica permette di variare attivamente la sua configurazione: è come disporre di una molla e di uno smorzatore le cui caratteristiche siano impostabili dall'utente, anche durante il suo uso.



Rotore a sospensione magnetica

Questo dimostratore simula il caso in cui l'oggetto sospeso, oltre a levitare, ruota. Gli elettromagneti di sospensione attraggono l'albero, in modo da mantenerlo centrato, ne sostengono il peso e possono ridurre eventuali vibrazioni. Il sistema di controllo regola le correnti che fluiscono nelle bobine e quindi le forze magnetiche di sospensione.

L'utilizzo della sospensione magnetica, in sostituzione dei tradizionali cuscinetti volventi e lubrificati per il supporto di alberi in rotazione, consente una riduzione della resistenza alla rotazione, poichè elimina il contatto diretto tra parti in rotazione e ferme. Questo riduce il dispendio di energia per mantenere l'albero in movimento e favorisce il raggiungimento di elevate velocità di rotazione. È una soluzione ecologica poichè elimina i lubrificanti presenti nei supporti tradizionali, causa di inquinamento.



Gli elettromagneti sono in grado di sviluppare una forza solo attrattiva. Nel caso del **levitatore magnetico**, in condizioni di equilibrio, la forza sviluppata è uguale ed opposta a quella di gravità (peso) della sfera così sospesa.

Nel caso dell'albero-motore la sospensione magnetica deve permettere di reagire non solo alla forza gravitazionale ma a forze in tutte le direzioni, per esempio quella dovuta allo squilibrio dell'albero stesso.

Per sviluppare una forza nei due sensi di ogni asse occorre disporre gli elettromagneti in coppia contrapposti. In pratica ogni **cuscinetto magnetico** risulta essere composto da quattro elettromagneti in grado di agire su due assi perpendicolari.

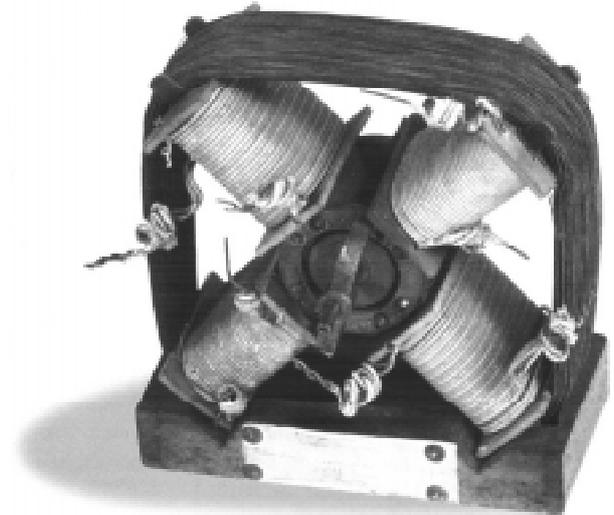
Gli elettromagneti debbono essere controllati in modo coordinato, almeno a livello di coppia contrapposta. L'utilizzo di un **microcontrollore digitale**, come fatto con questo dimostratore, permette di coordinare il controllo sia degli assi tra loro sia del motore.

Motore elettrico

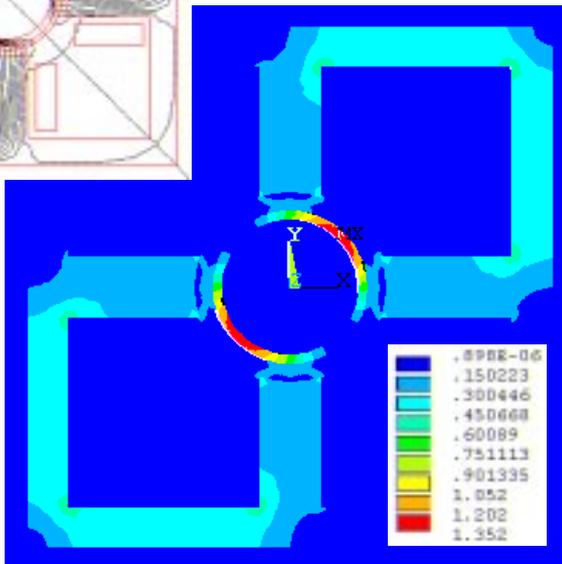
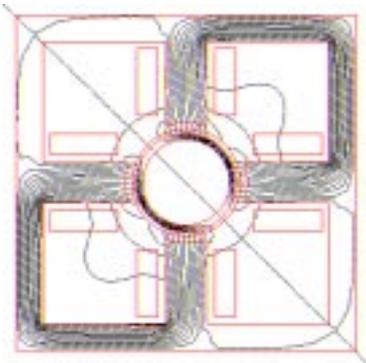
Galileo Ferraris (1847-1897) scopre a Torino nel 1885 come generare il campo magnetico rotante e realizza i primi prototipi di motore ad induzione.



Oggi il motore ad induzione è un prodotto industriale di aspetto molto diverso dai primi prototipi ed è divenuto il motore elettrico più diffuso.

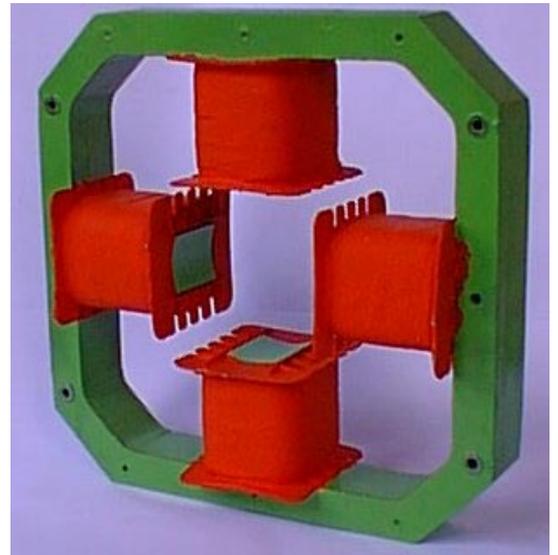


1886 - 3° Prototipo di Motore ad induzione realizzato da Galileo Ferraris



Il rotore sospeso magneticamente è trascinato dal campo magnetico rotante generato come nel prototipo storico.

I progettisti dispongono ora di strumenti di calcolo per lo studio dettagliato dei campi magnetici nei motori elettrici (codici di simulazione agli elementi finiti), ma i principi non cambiano.



Motore ad induzione a due fasi, due poli, usato per il dimostratore



Gruppo motore, cuscinetti magnetici e sensori di una pompa turbomolecolare costruita (Elettrorava S.p.A., Savonera, Torino). Tutti gli elementi sono realizzati usando una tecnologia simile a quella impiegata per i motori asincroni industriali e sono integrati nella stessa carcassa. Il sistema di controllo dei cuscinetti viene generalmente sistemato nello stesso armadio che contiene il sistema di alimentazione del motore.