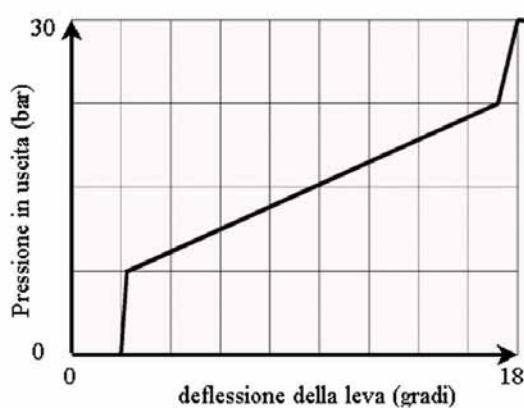
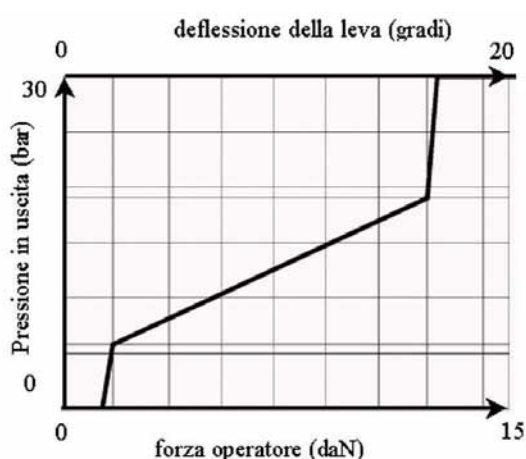


Joystick, ergonomia e produttività



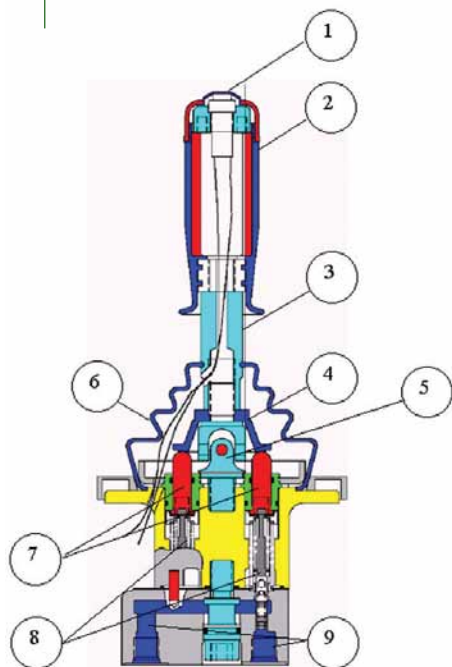
1. Valvola di controllo di flusso a comando joystick.



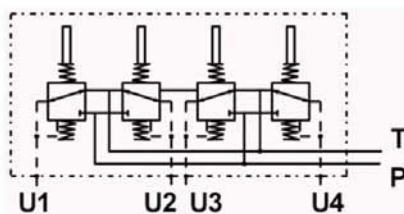
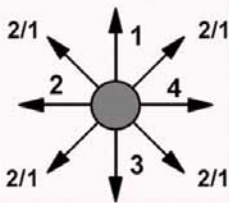
Le interfacce joystick nascono in campo aeronautico per i comandi di volo. L'evoluzione di questi componenti trova oggi molteplici applicazioni in diversi comparti industriali. Il loro utilizzo permette di eseguire compiti in modo preciso con un ridotto grado di affaticamento dell'operatore

La continua evoluzione nel campo dei comandi della trasmissione di potenza fluida ha individuato nell'utilizzo dei comandi joystick una via ricca di sviluppi e promettenti prestazioni. L'utilizzo, infatti, di un'interfaccia uomo-macchina che permetta

un'azione intuitiva, rapida, precisa e con retroazione sensibile, sia in forza sia in posizione, permette agli operatori di svolgere compiti molteplici con ridotto grado di affaticamento e significativo aumento di produttività [1], [2]. Le interfacce joystick na-



2. Sezione di valvola a comando joystick, collegata al circuito a fluido di una trasmissione di potenza.



scono in campo aeronautico per i comandi di volo; i comandi che oggi sono detti joystick elettrici nascono in Germania a Peenemunde negli anni '40, come comandi per ordigni radio guidati lanciati da aerei verso naviglio nemico. Questi comandi permettevano una direzionalità intuitiva e agevole della rotta di collisione dell'ordigno radio guidato. Il primo volo radioguidato con un comando di questo tipo fu un fallimento a causa dell'errato accordo tra il comando master e la movimentazione imposta dal sistema slave, a bordo, delle superfici mobili aerodinamiche degli impennaggi di guida. A parte quest'incidente iniziale il sistema trovò poi utilizzo nel conflitto da parte della Luftwaffe, con alto grado di obiettivi colpiti dagli ordigni Henschel 292 e successive versioni.

Le applicazioni di oggi

Oggi questi sistemi sono largamente utilizzati in molti ambiti degli impianti fissi e mobili, ma non hanno abbandonato il settore aeronautico dove addirittura i comandi principali di giganteschi velivoli sono interfacciati al pilota con comandi joystick.

Costruttori e utilizzatori di impianti e macchine mobili prediligono ormai le interfacce joystick poiché intuitive e immediate. Inoltre, questo tipo di comando è capace di of-

fruire una sensazione degli effetti ottenuti sul sistema fisico, sia dal punto di vista del legame tra spostamento voluto e ottenuto dall'attuatore, sia dal punto di vista delle forze ottenute dagli attuatori.

Le soluzioni tecniche per il controllo di macchine mobili e impianti che fanno uso di questa particolare interfaccia sono sicuramente all'avanguardia e in linea con le richieste del mercato che sono l'antisaturazione (flow sharing), che è tra le principali caratteristiche che oggi il mercato richiede nei sistemi di controllo 'load-sensing', e la priorità diversificata in compresenza con l'antisaturazione dei vari attuatori. Quest'ulteriore caratteristica è di sicuro interesse in quanto il duty cycle della macchina deve avere in ogni caso una precisa coniugazione tra armonia e sincronizzazione dei movimenti.

Per quanto riguarda i più comuni sistemi di antisaturazione questi sono i post compensati, realizzati spesso con una compensazione della pressione con un idrostatato unito a un'ulteriore pressurizzazione per garantire l'antisaturazione del sistema e una gradualità proporzionale dell'alimentazione degli attuatori.

Ergonomia e multimodalità sono le nuove frontiere da superare per una migliore qualità del lavoro degli operatori e maggiore pro-

duktività. In questa direzione si muovono le azioni di diversi tecnici progettisti e ricercatori nel campo della funzionalità di comandi joystick di impianti in un discorso interdisciplinare e unitario relativo alla postazione di lavoro. Perché una postazione sia il più possibile ergonomica, è importante che tutti i movimenti dell'operatore si svolgano all'interno di uno spazio di lavoro che non si riveli al di fuori dei movimenti naturali del corpo e non provochino sforzo e assuefazione a movimenti ripetuti; particolare attenzione deve essere dedicata anche al posizionamento del joystick.

L'evoluzione che si vuole percorrere non riguarda esclusivamente la capacità di una macchina di svolgere determinate operazioni, ma anche il tipo di interazione che coinvolge l'operatore e il sistema. A tale scopo è sorta una nuova area di studio della Human Computer Interaction: quella sulle interfacce multimodali, il cui obiettivo è quello di consentire una migliore comunicazione tra l'uomo e il sistema attraverso una sorta di antropomorfizzazione di quest'ultimo. Si parla di multimodalità quando un qualsiasi tipo di interazione coinvolga più di un canale percettivo (o input di comunicazione).

In un sistema multimodale, direzione decisa presa dallo sviluppo di moderni sistemi di interfacciamento operatore-sistema, si inserisce a pieno titolo la rapida evoluzione dei comandi di trasmissione di potenza fluida con l'utilizzo di valvole a comando joystick [3], [4], [5], [6].

Interfaccia joystick in trasmissioni di potenza fluida

L'utilizzo di joystick in sistemi idraulici e pneumatici sta avendo considerevole successo non solo a livello industriale, ma anche in campi diversi della ricerca e dello studio dell'interfacciamento uomo-macchina [7], [8]. Al fine di interfacciare impianti di potenza fluida con operatori, utilizzando sistemi di tipo joystick, si adottano diverse filosofie: collegamenti meccanici e trasmissioni dirette verso le valvole di controllo del circuito di potenza, joystick che agiscono su circuiti idraulici a bassa pressione per segnale pilota e, infine, collegamento del joystick ad un cir-

cuito elettrico a corrente continua a bassa potenza per il controllo di elettro-valvole.

Nella prima soluzione, dove si ha collegamento meccanico alle valvole di controllo, i collegamenti meccanici con le loro trasmissioni appaiono indubbiamente complessi per joystick a più assi portando a una notevole complessità nel montaggio dei collegamenti e provocando problemi non indifferenti in fase di installazione, manutenzione e taratura. In questa soluzione, non certo la più diffusa, si utilizzano aste e leveraggi che provocano, però, fastidiosi ingombri, da considerare in ambito progettuale, disegnando un cammino diretto tra joystick e impianto a scapito di immediatezza ed ergonomicità e rendendo praticamente impossibile il soddisfacimento di requisiti di multimodalità in sistemi ad architettura complessa. In questo modo, inoltre, l'operatore è costretto a esercitare una forza non trascurabile, spesso ripetuta a frequenza sostenuta e in posizioni e per corse non ottimali, imposte dalla complessità e rigidità della trasmissione a scapito di ergonomicità



3. Joystick elettrico.

tore sensibilmente limitata e una manutenzione agevole. Nonostante ciò i joystick che agiscono su un impianto pilota possono essere soggetti a perdite di fluido, rumore, rilascio di energia termica, proveniente dal fluido trattato, fastidiosa per l'operatore. Inoltre, in condizioni di bassa temperatura ambiente, il fluido freddo influisce signifi-

ca a comando joystick, collegata al circuito a fluido di una trasmissione di potenza. In questa figura si vede, sulla sommità del dispositivo, il comando a pressione (1) spesso affiancato da cursori e trigger, l'impugnatura (2) attraverso la quale l'operatore può comandare il moto principale del sistema, dotato di due rotazioni ad assi orizzontali ortogonali e di una rotazione dell'impugnatura stessa intorno al proprio asse, attraverso il vincolo cinematico (3). Nella stessa figura, con (4) si è indicato il movente a campana, solidale all'impugnatura sospesa al giunto universale (5), protetto dalla cloche flessibile (6). La campana movente (4) agisce sui bicchierini (7) che comandano gli otturatori (in altri casi le spole) delle valvole meccaniche (8), per il controllo del flusso del fluido attraverso le bocche (9).

La terza soluzione, che prevede un circuito elettrico a corrente continua a bassa potenza per il controllo di elettro-valvole, è ritenuta una soluzione spesso ottimale. In questa soluzione si hanno joystick elettrici che possono essere posizionati anche molto lontano dalle valvole elettro-idrauliche o elettro-pneumatiche, che sono comandate in remoto. In questo modo si ha una grande libertà di posizionamento del comando rispetto al-

Tabella I.
Classificazione dei joystick elettrici.

Grandi a impugnatura			Piccoli, collegati alle dita		
Controllati in spostamento		Controllati in forza	Controllati in spostamento		Controllati in forza
Discreti	Proporzionali	Proporzionali	Discreti	Proporzionali	Proporzionali
	potenziometrici,			potenziometrici	
	encoder,	induttivi		a effetto Hall,	
On-off	Rvdt,	a estensimetri Lvdt	on-off	induttivi	a estensimetri
	induttivi			a film sottile	
	ad effetto Hall				

e produttività.

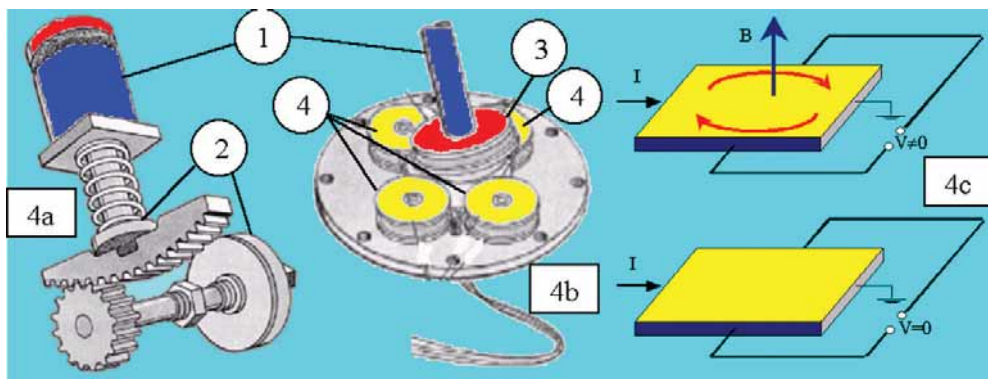
Una scelta vincente da questo punto di vista è rappresentata dalla seconda soluzione sopra citata che prevede l'uso di valvole pilota su cui agire con il joystick. In questo modo si opera su un impianto pilota a bassa pressione, attraverso il quale si porta un segnale all'impianto di potenza. Diversi sono i vantaggi di questa scelta, da cui deriva una forte semplificazione di montaggio e installazione rispetto alla soluzione precedente: si ha una forza di attuazione da parte dell'opera-

cativamente sulle prestazioni e sul tipo di risposta dell'interfaccia, cambiando significativamente la sensazione aptica dell'operatore verso il sistema.

In figura 1 si vede un tipico esempio di valvola di controllo di flusso a comando joystick; si noti come la parte superiore, rappresentata dall'impugnatura e dall'insieme dei comandi secondari, sia montata a ridosso della valvola di controllo del flusso, ubicata nella parte inferiore.

In figura 2 si vede una sezione di una valvo-

l'impianto di potenza e i costi sia di realizzazione, sia di manutenzione, sia di diagnostica risultano fortemente contenuti rispetto a quelli relativi a un impianto in cui l'interfaccia joystick agisca direttamente su un impianto a fluido, seppur pilota. La contropartita rispetto a un comando diretto su impianto a fluido è rappresentata dal maggiore costo delle elettro-valvole. Vantaggio non indifferente di una tale soluzione è rappresentato dalla possibilità di utilizzare un protocollo di comunicazione seriale che porta ad



4a. Principio di funzionamento.
b. Schema di funzionamento
 che sfrutta il principio di induzione per la traduzione del moto.
c. Effetto Hall schematicizzato.

un'importante semplificazione del sistema. Le valvole di potenza possono essere posizionate anche molto lontano dal joystick di comando e vicino ad attuatori e motori, ottimizzando la dinamica dell'impianto.

Un tipico joystick elettrico è rappresentato in figura 3, dove si vede il sistema di cablaggi alla base del sistema meccanico di interfacciamento con l'operatore. La definizione, da parte dell'operatore, del segnale elettrico che controlla le elettro-valvole vede l'applicazione di diversi principi di funzionamento. In tabella 1 si riporta una classificazione di joystick elettrici.

Joystick elettrici

Ci sono due principali tipi di joystick elettrici: joystick con o senza spostamento. I primi, quelli con spostamento, sfruttano appunto lo spostamento dell'impugnatura da parte dell'operatore trasformando tale spostamento dell'impugnatura in un segnale elettrico; i joystick senza spostamento, invece, trasformano il segnale di forza, dato dall'operatore in segnale elettrico, poi inviato alle elettro-valvole. In questo modo si ha il grosso vantaggio di evitare parti mobili per la trasmissione del movimento del joystick che, appunto, è assente, avendo la sensazione aptica, però, completamente affidata al segnale di forza. I tipi più usati di joystick elettrici sono quelli che utilizzano, per la trasduzione del segnale di movimento dell'operatore in segnale elettrico, un trasduttore potenziometrico o un trasduttore induttivo. Il principio di funzionamento di tali trasduttori è quello utilizzato normalmente nelle misure meccaniche per rilevare spostamenti lineari o angolari. In figura 4a, tra im-

pugnatura (1) e potenziometri (2), collegati elettricamente agli stadi pilota elettrici delle elettro-valvole, si ha una trasmissione meccanica, rappresentata in figura dalla trasmissione a settore dentato; inoltre in figura è schematizzata anche la possibilità di un movimento dell'impugnatura, oltre che intorno a due assi mutuamente perpendicolari, intorno all'asse dell'impugnatura stessa e lungo esso. In figura 4b si schematizza il principio di funzionamento di un joystick che sfrutta il principio di induzione per la trasduzione del moto dell'impugnatura in segnale elettrico, da inviare alle elettro-valvole. Il moto dell'impugnatura (1) trascina il circuito primario (3) ad essa solidale, alimentato da un segnale elettrico a corrente alternata, al circuito primario sono affacciati quattro circuiti secondari (4). Quando l'impugnatura è al centro e il circuito primario è in posizione simmetrica rispetto ai secondari la corrente indotta è uguale nei secondari, se si ha un moto dell'impugnatura, il primario si trova in posizione dissimmetrica e si ha squilibrio delle correnti indotte con il conseguente segnale elettrico desiderato da inviare alle elettro-valvole. I joystick di ultima generazione sfruttano, per la trasduzione del segnale di posizione in segnale elettrico, l'effetto Hall illustrato schematicamente in figura 4c. Una piastra conduttrice percorsa da corrente I , quando è soggetta trasversalmente ad un campo magnetico B posto come in figura, generato dal posizionamento non centrato dell'impugnatura, genera una differen-

za di potenziale V sulle facce laterali. Questo è il segnale inviato alle elettro-valvole.

Con l'effetto Hall si ha l'importante vantaggio di avere la generazione di un segnale senza parti striscianti o contatti, elemento fondamentale per l'affidabilità e la durata di joystick su impianti dove siano presenti vibrazione e per applicazioni a bordo di macchine mobili soggette a cicli ripetuti e pesanti, come, ad esempio, trattori e macchine movimento terra.

Cosa dire

La continua evoluzione di queste interfacce giustifica un'attesa, da parte degli operatori del settore, di una sempre maggiore integrazione tra operatore e macchina in un ambito di multimodalità che permette di intravedere un'integrazione senza soluzione di continuità tra uomo e macchina. Inoltre tale sistemi garantiscono una sempre maggiore produttività alleviando l'operatore da onerose e impegnative operazioni di adattamento dell'operatore stesso alle caratteristiche della macchine che diventano sempre più integrate e portabili da un sistema all'altro.

A. Manuello Bertetto, Università di Cagliari.

Bibliografia

- [1] G. Belforte, "Manuale di pneumatica", Tecniche Nuove, 2005.
- [3] <http://www.sauer-danfoss.com>
- [4] <http://www.kawasakipmd.com>
- [5] <http://www.hydrocontrol-inc.com>
- [6] G. Larocque, "Maintain Control of Brute Strength", *Hydraulics and Pneumatics*, March 2006, pp. 44-47.
- [7] Allison M. Okamura, Christopher Richard, Mark. R. Cutkosky, "Feeling is Believing: Using a Force-Feedback Joystick to Teach Dynamic Systems", *Journal of Engineering Education*, July 2002 pp. 345-349.
- [8] M. Mahvash and V. Hayward, "High-Fidelity Passive Force-Reflecting", *Virtual Environments Ieee Transactions on Robotics*, 2005, vol. 21, n.1, pp. 38-46.