

Attuatori intelligenti per macchine agricole

NICOLA AMATI, CARMINE PRISTERÀ, ANDREA TONOLI

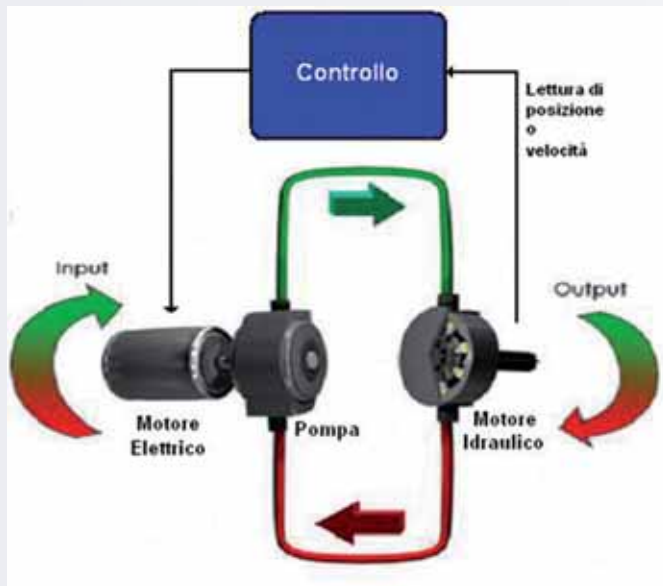
Lo sviluppo di sistemi mecatronici applicati ai veicoli e la necessità di migliorare gli aspetti energetici anche nelle macchine agricole ha portato allo studio e allo sviluppo di tecnologie alternative rispetto alle soluzioni idrauliche tradizionali

Le macchine per la lavorazione della terra sono attualmente equipaggiate con sistemi di attuazione di tipo meccanico e/o idraulico sia per la movimentazione che per l'attuazione di organi di macchina. Da questo punto di vista, nel settore si possono identificare principalmente tre categorie di macchine. Le piccole macchine dedicate all'espletamento di una singola funzione come i motocoltivatori e le macchine per il giardinaggio. Esse sono equipaggiate con una trasmissione meccanica collegata al motore a combu-

stione interna e non hanno circuito idraulico. Tale configurazione è motivata da ragioni di costo, di peso e di semplicità costruttiva. L'estremo opposto è rappresentato dalle grandi macchine polivalenti per impiego in ambito forestale, per la silvicoltura, lo sgombero della neve, la manutenzione stradale, la raccolta

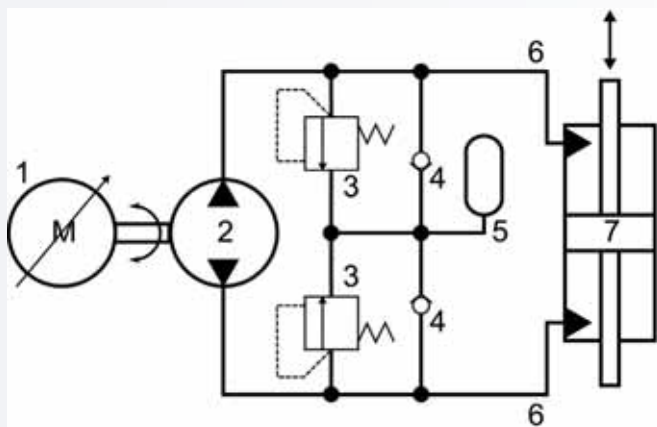
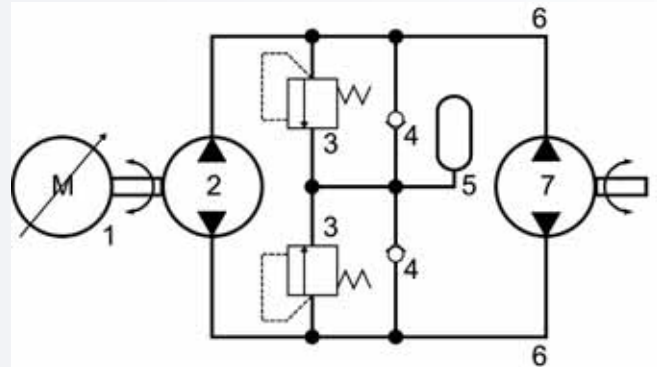
di frumento, uva, olive. Tali macchine sono completamente idrauliche poiché la trazione è realizzata mediante una trasmissione idrostatica e anche tutte le utenze sono movimentate mediante un circuito idraulico separato. La soluzione idraulica consente di gestire grandi potenze garantendo nel contempo la necessaria manovrabilità e flessibilità di utilizzo. Soluzioni tecnologiche avanzate e di costo elevato che pre-





Sopra la figura 1. Schema di funzionamento di un'attuazione elettroidrostatica.

Sotto la figura 2. Schema idraulico per una attuazione elettroidrostatica rotativa e lineare. I componenti del circuito sono: 1) motore elettrico, 2) pompa a cilindrata fissa, 3) valvole di massima pressione, 4) valvole di non ritorno, 5) accumulatore, 6) linee idrauliche, 7) motore idraulico/



vedono l'utilizzo di pompe a cilindrata variabile e sistemi di attuazione load sensing sono in tal caso giustificati. Le macchine agricole motorizzate di media taglia, cui appartiene l'ampia gamma di trattori gommati per l'agricoltura, sono dotate di una trasmissione meccanica per la trazione delle ruote motrici, di un impianto idraulico ad alta pressione (180-200 bar) e di un impianto idraulico a bassa pressione (18-20 bar). Il primo è utilizzato per azionare l'idroguida, la valvola freno del rimorchio, il sollevatore idraulico posteriore e il distributore degli ausiliari per il collegamento degli attacchi delle diverse utenze del trattore. Il circuito di bassa pressione è invece utilizzato per il bloccaggio del differenziale, l'innesto della doppia trazione, la presa di forza e della frizione.

Potenze e costi

L'analisi di trade-off tra le potenze in gioco e i costi della tecnologia fanno propendere in tali macchine per una

soluzione puramente meccanica per la trasmissione del moto alle ruote motrici. Il circuito idraulico di alta pressione è differente nei trattori di alta potenza rispetto agli omologhi di media e bassa potenza non solo per le dimensioni dei componenti e le portate di fluido ma anche per la tipologia di componenti. In un trattore di potenza elevata è prevista una pompa a cilindrata variabile collegata direttamente al motore termico. Ogni utenza è dotata di un distributore a centro chiuso e di un dispositivo di rilevazione del carico che consente di regolare la portata e la pressione della pompa in funzione della effettiva richiesta. Un impianto con tali caratteristiche ha un buon rendimento, ma risulta essere complesso e costoso e quindi giustificabile solo per macchine di grande potenza. In trattori di potenza medio bassa la pompa a cilindrata variabile è sostituita da due o tre pompe a ingranaggi disposte in tandem e direttamente collegate all'albero di uscita del motore termico. In tal caso

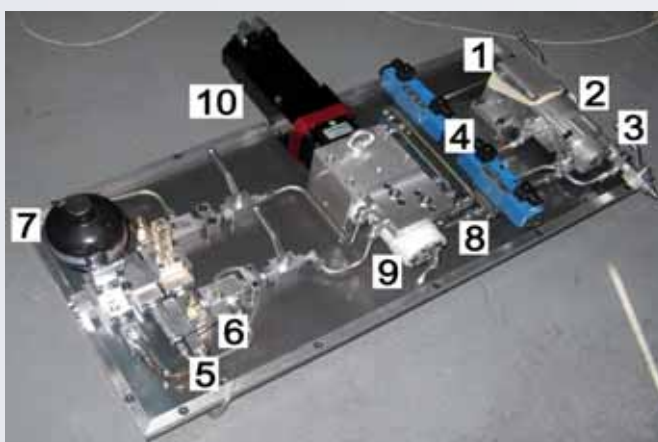
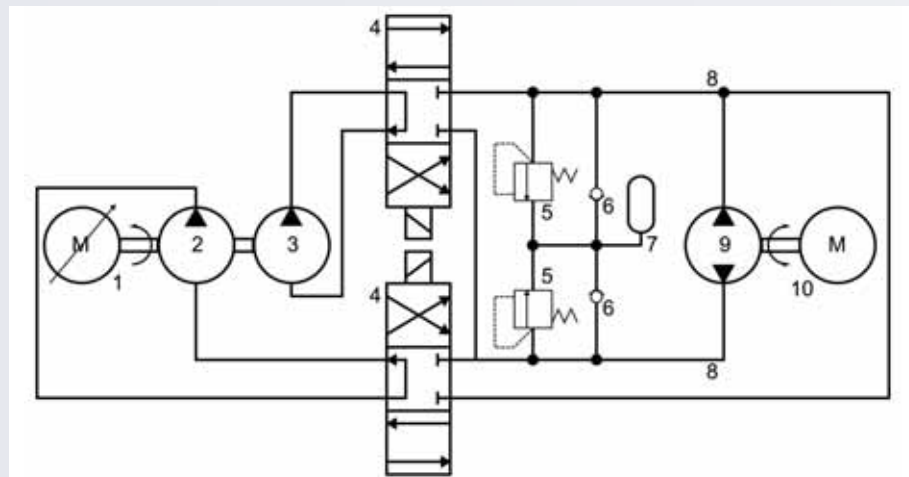
la portata di fluido è funzione del regime di rotazione del motore. Ciò comporta di dimensionare il circuito in modo da garantire sempre la massima portata e richiede dei distributori a centro aperto per consentire la mandata a serbatoio del fluido in eccesso. A fronte di un circuito molto più semplice e realizzato con componenti meno costosi, si ha in tali sistemi un rendimento variabile in funzione delle condizioni di funzionamento.

Nuovi sistemi elettroidrostatici

Lo sviluppo di sistemi meccatronici applicati ai veicoli e la necessità di migliorare gli aspetti energetici anche nelle macchine agricole ha portato allo studio e allo sviluppo di tecnologie alternative rispetto alle soluzioni idrauliche sopra descritte. Al Politecnico di Torino è attiva da qualche anno una linea di ricerca dedicata allo sviluppo di sistemi elettromeccanici ed elettroidrostatici per il controllo delle vibrazioni e la trasmissione di potenza sia in campo industriale che nel



Immagine di un prototipo di telemanipolatore con trazione elettroidrostatica sviluppato presso il Politecnico di Torino.



Sopra la figura 4. Schema e relativo banco di caratterizzazione di una trasmissione elettroidrostatica per il telemanipolatore rappresentato in figura A lato la figura 3. I componenti utilizzati sono: 1) motore elettrico, 2) 3) pompe a ingranaggi monodirezionali con cilindrate differenti, 4) elettrovalvole di direzione flusso, 5) valvole di massima pressione, 6) valvole di non ritorno, 7) accumulatore, 8) linee idrauliche, 9) motore idraulico, 10) motore elettrico che simula il carico.

settore veicoli. Di particolare interesse per applicazioni in macchine agricole è la tecnologia delle attuazioni elettroidrostatiche (EHA-Electro Hydrostatic Actuation). Un sistema elettroidrostatico (EHA) è caratterizzato da un motore elettrico, una pompa idraulica a cilindrata fissa, un condotto idraulico che si collega all'attuatore lineare o rotativo ed una centralina elettronica di controllo e di potenza che pilota il motore elettrico. La centralina elettronica riceve informazioni sul carico mediante la misura della pressione e della velocità della pompa o dell'attuatore e controlla il motore elettrico in modo da soddisfare la richiesta. Il controllo dell'attuatore è pertanto demandato al controllo del motore elettrico senza alcuna dissipazione di energia a meno dei rendimenti dei vari componenti elettro-

nici/elettrici/idraulici. La figura 1 mostra lo schema di principio mentre la figura 2 riporta lo schema idraulico a circuito chiuso per una attuazione lineare e per una attuazione rotativa. Gli schemi di figura 1 e 2 fanno riferimento ad una soluzione a circuito chiuso che risulta essere particolarmente compatta, richiede poco fluido ma spesso necessita di un dispositivo per il condizionamento termico del fluido stesso. Per diverse applicazioni risulta vantaggiosa una soluzione a circuito aperto in cui è presente un serbatoio di fluido al quale è connesso l'aspirazione della pompa e la mandata dell'utilizzatore. Tale soluzione è sicuramente più ingombrante e pesante ma consente di evitare lo scambiatore di calore e permette l'utilizzo anche di attuatori lineari non a stelo passante. La

versatilità della tecnologia è dimostrata da un progetto di ricerca cooperativo attualmente in corso nell'ambito del Mesap, Polo di innovazione piemontese della meccatronica e dei sistemi avanzati di produzione, all'interno del quale vengono studiate specifiche applicazioni in ambito elicotteristico, spaziale e produttivo (progetto EHA-Inavico - Electro Hydrostatic Actuation for Industrial Automation and Vibration Control). La figura 3 riporta l'immagine di un prototipo di un telemanipolatore realizzato per interventi ad alto rischio. La trazione del veicolo è ottenuta mediante una trasmissione elettroidrostatica secondo lo schema figura 3. La sterzata del veicolo è differenziale poiché è presente un circuito indipendente per ogni lato. Lo schema di figura 4, invece, evidenzia che al motore

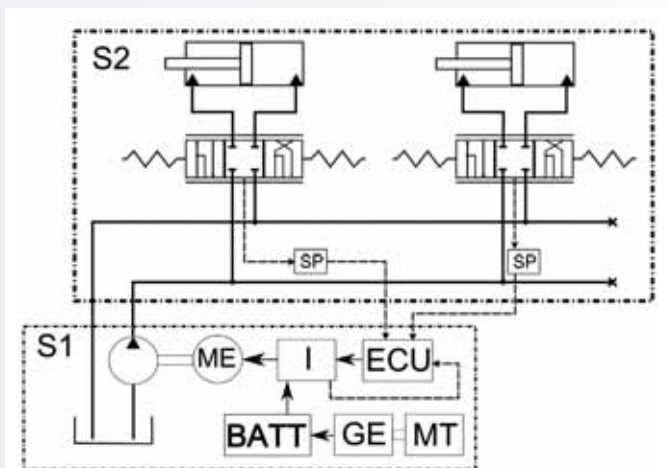


Figura 5. Schema idraulico multiutenza con pompa a cilindrata fissa azionata da motore elettrico. SP: sensore di pressione, ME: motore elettrico, I: inverter, ECU: unità elettronica di controllo, BATT: batterie, GE: generatore elettrico, MT: motore termico.

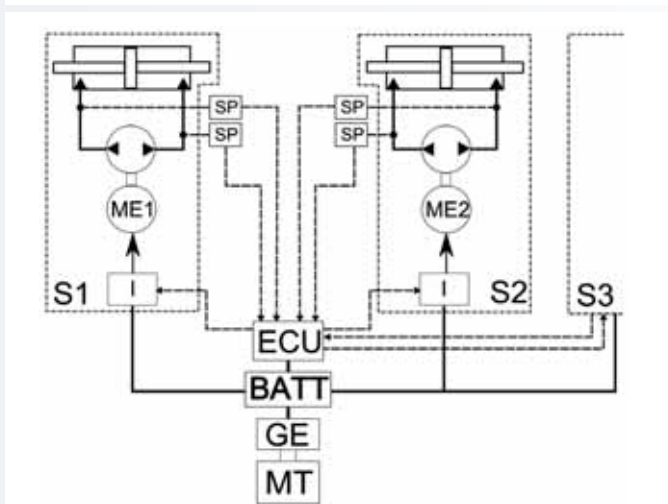


Figura 6. Schema idraulico multiutenza con singola utenza azionata mediante schema elettroidrostatico come riportato in figura 2. SP: sensore di pressione, ME: motore elettrico, I: inverter, ECU: unità elettronica di controllo, BATT: batterie, GE: generatore elettrico, MT: motore termico.

elettrico sono collegate due pompe in tandem per realizzare un cambio in tre velocità. Ciò consente di coprire tutto il campo di velocità richiesto (0-15 km/h) considerando che il range di velocità del motore elettrico è 0-3.000 giri/min.

Applicazione dell'elettroidrostatica

Due possibili configurazioni della tecnologia per il circuito idraulico di alta pressione in un trattore di media potenza sono rappresentate in figura 5 e 6. Per la prima (figura 5), la portata di fluido verso le utenze è generata da una pompa a cilindrata fissa che è collegata ad un motore elettrico controllato. Ogni attuatore è quindi controllato mediante un distributore a centro chiuso. Il motore elettrico è controllato da un inverter che riceve potenza elettrica dal pacco batterie

e segnale di comando dalla centralina elettronica. Quest'ultima riceve i segnali dei sensori di pressione installati sulle linee di mandata e ritorno di ogni attuatore ed elabora il segnale di pilotaggio verso l'inverter. Il pacco batterie è alimentato da un generatore elettrico collegato al motore termico. In tale soluzione il sottosistema S1 gestisce portata e pressione verso gli utilizzatori.

Dal punto di vista idraulico tale soluzione ha le stesse prestazioni di un circuito multiutenza alimentato da una pompa a cilindrata variabile collegata al motore termico come nei circuiti di alta pressione dei trattori di grande potenza.

Dal punto di vista energetico il sottosistema generatore, inverter, motore elettrico ha un rendimento del 65-70%. Tale rendimento è da tenere in conto

nel computo totale del rendimento del sistema. Esso richiede l'installazione di sensori di pressione, macchina elettrica e relativa elettronica di controllo e di potenza (i sottosistemi pacco batterie, generatore elettrico sono già presenti a bordo veicolo) ma viene eliminata la pompa a cilindrata variabile.

Il secondo schema elettroidraulico (figura 6), prevede di utilizzare per ogni attuatore uno schema EHA come descritto in figura 2. Con tale soluzione ogni attuatore è idraulicamente indipendente per cui ogni sottosistema S1, S2, S_n, ... può essere delocalizzato e l'impianto idraulico è sostituito con un impianto elettrico. Non sono previste perdite idrauliche per laminazione di fluido in pressione a serbatoio per cui il rendimento globale dipende dal rendimento del sottosistema elettrico/elettronico (generatore+inverter+motore elettrico ≈ 65 ÷ 70%) e dal rendimento dei componenti idraulici (pompa+fluido+utilizzatore ≈ 70%). Anche in tal caso si richiedono dei sensori di pressione, una macchina elettrica con relativa elettronica di controllo e di potenza ma si ha l'opportunità di semplificare il circuito idraulico e migliorare il rendimento globale. Si tenga presente che i sottosistemi pacco batterie, generatore elettrico sono già presenti a bordo veicolo anche se per l'applicazione si richiedono dimensioni e prestazioni differenti.

In generale l'attuazione elettroidrostatica non necessita di introdurre nuove tecnologie rispetto a quelle già esistenti in un trattore di media potenza. La semplicità costruttiva e l'elevato rendimento energetico sono due aspetti importanti per cui i sistemi EHA possono avere uno sviluppo in un settore in cui affidabilità e sicurezza sono due esigenze primarie ma in cui comfort e riduzione dei consumi diventano sempre più importanti.

N. Amati, C. Pristerà, A. Tonoli - Politecnico di Torino, Dipartimento di ingegneria meccanica e aerospaziale.