

Trasmissioni a fluido o elettriche per uso automobilistico?

Il presente articolo offre una visione di insieme sulla rilevanza e sul potenziale dei sistemi oleodinamici per uso automobilistico in applicazioni attuali e nel futuro, comparati alle trasmissioni elettriche come loro principali sfidanti. La classificazione dei veicoli automobilistici, in accordo alla ISO/DIN 70010, è mostrata nell'introduzione.

Diversi motivi stimolano le innovazioni nell'ingegneria delle trasmissioni, dove il risparmio di energia durante la produzione e l'uso di automobili può essere considerato, il primo requisito del futuro.

W Wolfgang Hirschberg
Institute of Automotive Engineering (FTG),
Graz University of Technology (Austria)



Per identificare le tecnologie di trasmissione appropriate, una distinzione tra trazione (principale) e trasmissioni supplementari (ausiliari) è determinante. Al fine di utilizzare i loro vantaggi specifici, sempre più differenti sorgenti di energia e/o convertitori di energia (trasmissioni) vengono combinate in un solo veicolo e sono ora conosciute come trasmissioni a trazione ibrida avendo certe topologie. Per comprenderne le relazioni sono state analizzate le influenze che le differenti caratteristiche e efficienze di trasmissione

hanno sulle prestazioni di guida e frenata di un veicolo. Alcuni selezionati tipi di trasmissione sono stati comparati ed è stato analizzato in particolare l'aspetto dell'accumulo di energia.

Dal punto di vista ingegneristico, una trasmissione ausiliaria di una macchina è allo stesso livello d'interesse di una trasmissione per trazione. In quest'era una tendenza all'azionamento elettrico è chiaramente rilevabile, questa permette di ottenere una strategia di "potenza su richiesta" (power on demand). Al momento, la rete a bassa tensione può considerarsi come il maggior ostacolo/

handicap, tuttavia, una volta elevata la tensione di bordo si può assistere un notevole passo avanti nella trasmissione elettrica ausiliaria. In ogni caso, a causa dei loro particolari vantaggi, le soluzioni a fluido possono mantenere la loro importanza nell'ingegneria automobilistica, ad esempio in molle pneumatiche, servofreno e convertitori di coppia idrodinamici. In conclusione, la necessità di una significativa riduzione di energia durante l'intero ciclo di vita dell'automobile continua a rimanere il fulcro, in particolare durante le fasi di produzione e utilizzo. Ad oggi sono in corso notevoli cambiamenti

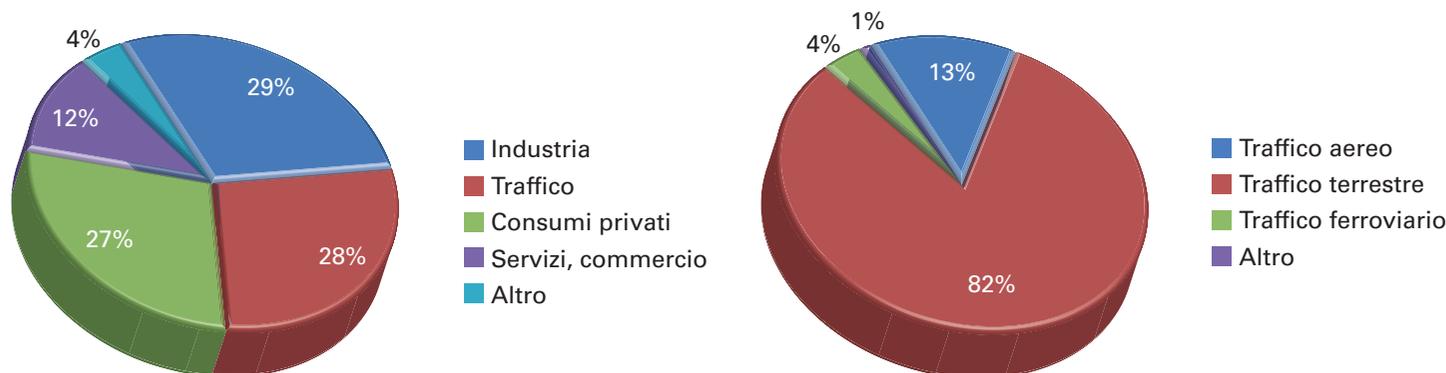


Fig. 1 – Consumo di energia totale e relativo in Germania nel 2009, [1], [2].

nelle tecnologie di trasmissione di potenza automobilistiche. I cambiamenti in arrivo nel settore dei trasporti e del traffico presentano enormi sfide per tutte le discipline coinvolte. Le sfide più significative sono:

- Ulteriore aumento globale di capacità di trasporto e passeggeri,
- I mercati emergenti puntano su una mobilità individuale,
- Cambiamenti climatici dovuti a gas serra ed emissioni,
- La non infinità dei combustibili fossili,
- La produzione commerciale di vettori energetici, la loro distribuzione e lo stoccaggio,
- Riduzione degli incidenti stradali e le loro conseguenze.

Nelle società sviluppate, approssimativamente un terzo del consumo totale energetico è speso in mobilità e trasporto [1] (fig.1), di conseguenza si ricava che un altro terzo di energia consumata dal traffico è impiegata per la produzione dei suddetti veicoli, che è incluso nelle parte “industria” nel grafico superiore. Inoltre, la distribuzione del consumo energetico fra i diversi tipi di trasporto è mostrato nel grafico inferiore della figura 1, si può riconoscere la quota dominante di veicoli stradali nella situazione generale, che caratterizzano il risultato di “mobilità individuale” e trasporti su strada.

Ovviamente, la necessità di un risparmio energetico durante la produzione e il funzionamento delle automobili può essere considerato come la prima necessità nel futuro. Questo fatto può essere visto come l’impulso

principale per le innovazioni nell’area delle trasmissioni automobilistiche [1]. Sulla base delle classificazioni dei veicoli automobilistici secondo la DIN 70010 [3], possono essere identificate differenti tecnologie di trasmissione. Veicoli a motore (“automobili”) incluse autovetture e veicoli commerciali (combinati con rimorchio o semirimorchio). I veicoli a motore rappresentano i tipici prodotti di massa.

La classe principale dei “veicoli da strada” include motociclette, autovetture, veicoli commerciali e combinati, che vengono acquistati e utilizzati in ambienti economici del tutto diversi avendo un’influenza immediata sulle applicazioni tecnologiche. Differenti soluzioni tecniche e concetti futuri sono rispettivamente in competizione diretta, come illustrato nella tabella (tab. 1)

Trasmissioni automobilistiche

Per individuare le tecnologie di trasmissione appropriate, una distinzione tra trazione (principale) e trasmissioni supplementari (ausiliari) è determinante.

Diversamente dalle macchine che lavorano a regime stazionario, a causa della loro modalità operativa non stazionaria, l’efficienza delle trasmissioni automobilistiche dipende da un certo ciclo di guida, ad esempio NEDC (un misto di ciclo urbano ECE 15 e un ciclo extra urbano EUDC), FTP-75 or Artemis, [4] η per il ciclo correlato, un rendimento medio può essere determinato, mediante una prova o una simulazione. Riguardo il flusso di energia mostrato nella figura 2, è ovvio che (bisogna) diminuire il numero dei convertitori di energia, poiché ogni conver-

Tipo veicolo	Utilizzo	Acquisto e esercizio	Importanza del prezzo
Motocicli	Prevalentemente ricreativo Limitato uso per trasporto	Acquisto guidato dall’emozione Operazione commerciale determinante	Bassa
Automobili passeggeri	Bene di consumo Prevalentemente funzione di trasporto *	Acquisto in parte razionale, in parte emozionale Esercizio non necessariamente orientato all’economia	Medio
Veicoli commerciali	Beni di investimento Pura funzione di trasporto **	Acquisto razionale Esercizio puramente commerciale, ricerca del profitto	Alta

*) Eccetto TAXI, autonoleggio, autovetture aziendali

***) Eccetto Motorhomes, camion da gara, mezzi storici

Tab. 1 – Confronto delle caratteristiche dei veicoli stradali.

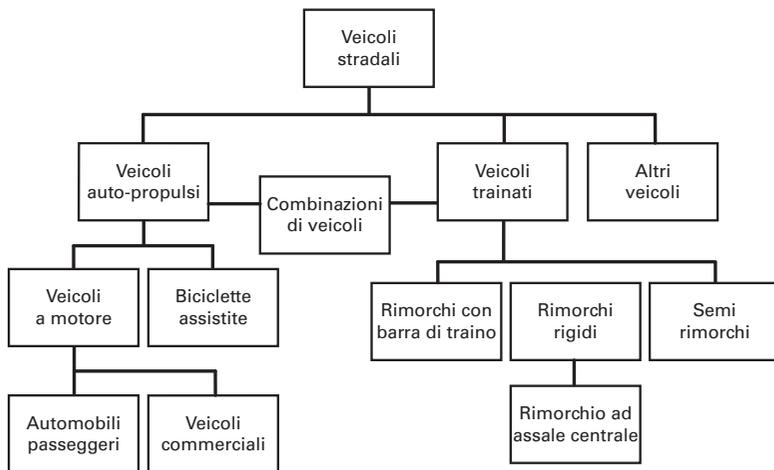


Fig. 2 – Classificazione di veicoli automobilistici in accordo con DIN 70010 [3].

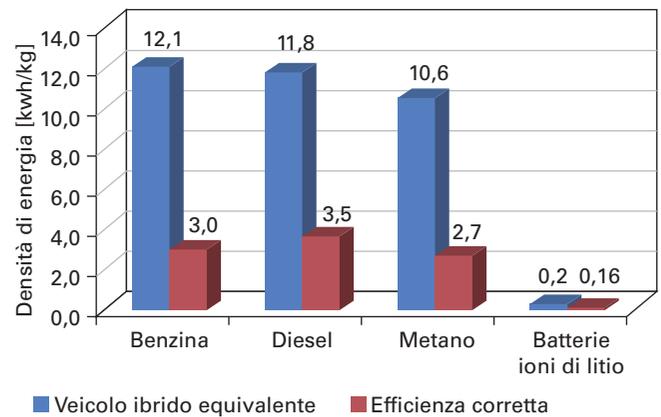


Fig. 4 – Densità di massa di differenti vettori energetici.

sione comporta una perdita più o meno distinta di energia.

Per esempio per una trasmissione a potenza fluida (FPD) l'efficienza è determinata da l'equazione:

$$\bar{\eta}_{FPD} = \bar{\eta}_p \bar{\eta}_t \bar{\eta}_c \bar{\eta}_d$$

dove l'equazione denoti la parziale efficienza dei cicli della pompa idraulica, la linea di ritorno e mandata, il controllo del dispositivo e la potenza della trasmissione stessa.

Trasmissioni per trazione

I motori a combustione interna (CI) rappresentano il principale concetto di propulsione convenzionale nelle automobili, hanno un'efficienza piuttosto limitata che arriva a nei migliori casi. Sono solitamente alimentati da combustibili fossili (benzina, diesel, metano) o in parte da combustibili rigenerativi come metil-estere di colza (RME) o etanolo (E). Questi combustibili consentono enormi densità di stoccaggio di energia. Al momento il motore CI è lo standard per alimentare non solo la propulsione, ma an-

che per rifornire la maggior parte delle trasmissioni ausiliarie.

Rispetto a ciò, il motore/generatore elettrico (EMG), atteso per l'immediato futuro, offre eccellenti rendimenti in un ampio range di gamma operativa. Al momento la relativamente limitata capacità di stoccaggio di batterie e supercondensatori costituisce l'attuale punto debole della tecnologia (fig. 3). Tuttavia, dopo aver immagazzinato a bordo l'energia elettrica, le trasmissioni elettriche distribuiscono abbastanza bene (economicamente) l'energia.

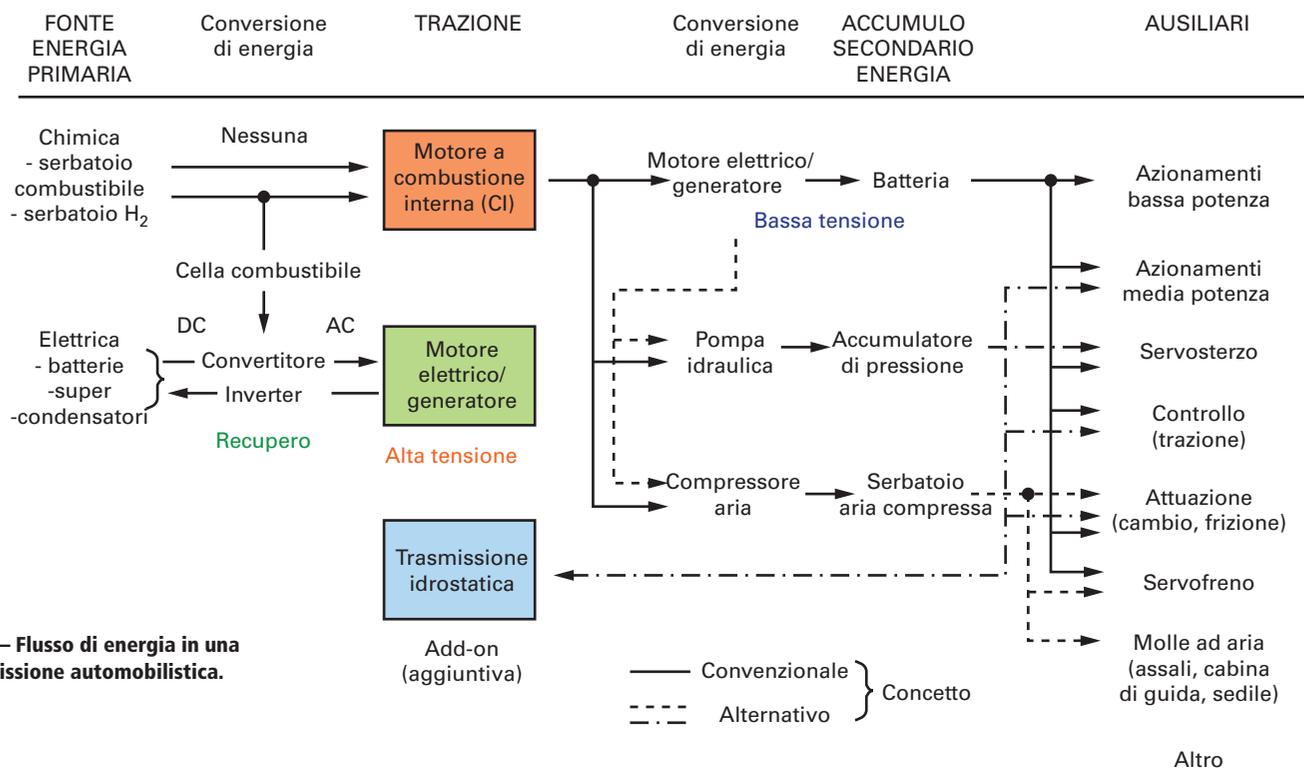


Fig. 3 – Flusso di energia in una trasmissione automobilistica.

Ulteriori caratteristiche rendono queste ultime interessanti per applicazioni automobilistiche:

- la possibilità di un ritorno di energia nello stoccaggio durante la modalità del generatore, chiamata “recupero”
- il loro semplice assemblaggio e facile mantenimento
- i loro bassi livelli di rumorosità.

Trasmissioni automobilistiche EMG sono implementate sia come motori sincroni a magneti permanenti (PSM) sia come macchine a induzione asincrona (AIM). Riguardo le densità di potenza, le PSM sono leggermente favorite, tuttavia, hanno bisogno di materie prime di valore per i loro magneti permanenti. In un confronto globale, le EMG hanno avuto accettabile densità di potenza, il che le colloca tra le principali trasmissioni idrostatiche (HPD) e i motori a CI.

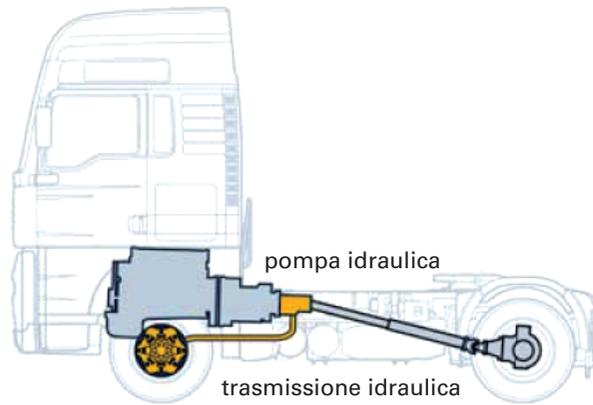
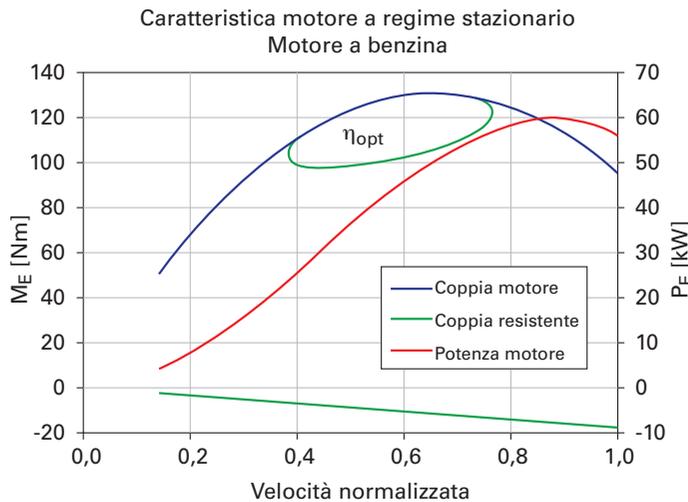


Fig. 5 – MAN HydroDrive, una trasmissione add-on per doppia trazione opzionale, [6]

I vantaggi delle HPD vengono dalla loro elevata densità di potenza (fig. 4). Perciò, è ben qualificato per le trasmissioni a trazione in-wheel che possono essere considerate come alternativa alle trasmissioni ibride. Vi è, tuttavia, una lunga catena di convertitori di energia, tali che l'efficienza com-

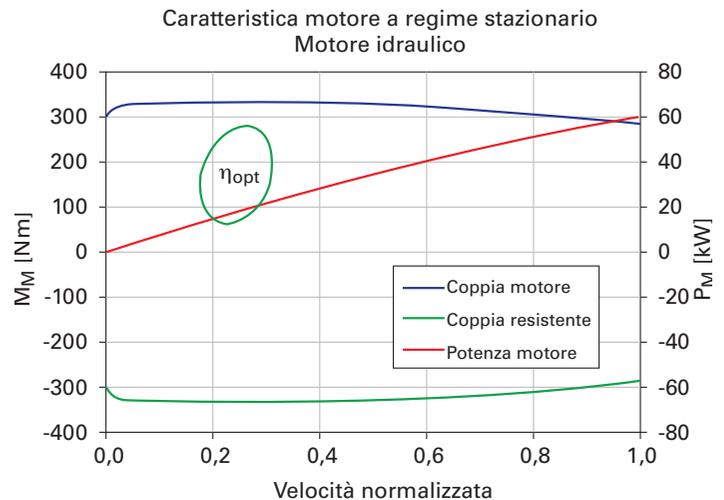
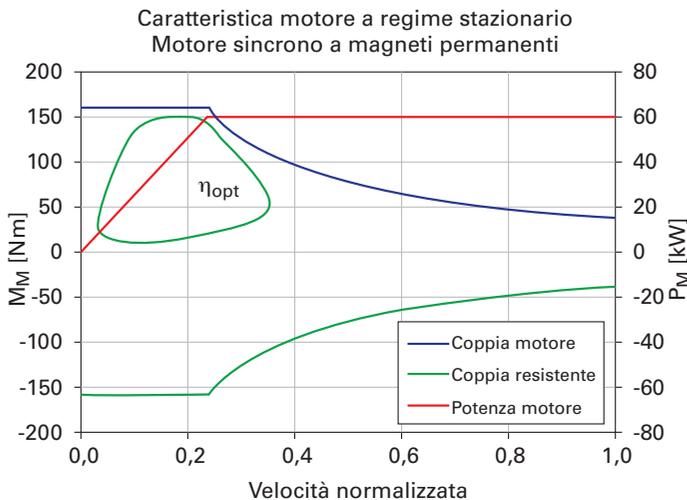
pletiva di queste trasmissioni è limitata, in particolare quando è azionata da un motore CI. Questa potrebbe essere la ragione per cui la sua applicazione come trazione sia limitata a veicoli speciali come motrici agricole, mietitrici e veicoli militari. Per i veicoli commerciali, utilizzati come veicoli pesanti per l'edilizia, sono state sviluppate soluzioni speciali di trasmissioni ibride add-on e ibride HPD. Ad esempio MAN HydroDrive [6] è una trasmissione idrostatica add-on sull'asse frontale che può essere inserita a comando (fig. 5).

Fig. 6 – Caratteristiche stabili di diversi convertitori di energia.



Trasmissioni a trazione ibrida

Al fine di utilizzare i loro vantaggi specifici, fonti di energie diverse e/o convertitori di energia (trasmissioni) vengono combinate in un solo veicolo e sono conosciute come trasmissioni ibride. Il flusso di potenza dei veicoli ibridi è consapevolmente più complicato di quello dei veicoli convenzionali. Mentre la topologia in un veicolo convenzionale è generalmente fissata, la disposizione dei componenti di potenza per i sistemi



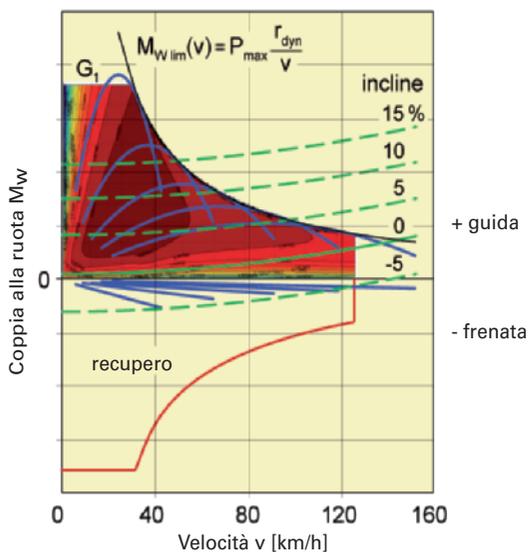


Fig. 7 – Le caratteristiche delle prestazioni dello stato stazionario di un IC – EMG aventi lo stessa potenza massima Pmax.

a propulsione ibrida è flessibile. L'obiettivo è quello di trovare quale combinazione sia quella ottimale per l'uso previsto [5].

A seconda dei requisiti, sono state costituite differenti topologie di trasmissioni ibride:

- ibridi paralleli sono caratterizzati da accoppiamento meccanico diretto di tutte le unità della trasmissione e le ruote motrici. Sono principalmente applicati per le autovetture e i veicoli commerciali. Nel caso di trasferimento di potenza attraverso la strada, il sistema viene chiamato "Through-the-Road" o "Add-on" ibrido (fig. 5).
- Trasmissioni ibride in serie sono caratterizzate da un collegamento in serie di tutti i convertitori di energia che agiscono in un veicolo. In particolare, il motore CI è disaccoppiato dalle ruote motrici da una trasmissione a potenza elettrica o a fluido. Tipicamente sono montate sugli autobus urbani. La topologia ibrida dei power-split, montata principalmente su automobili veicoli, può essere considerata come la combinazione delle topologie ibride sopra citate sia in serie sia in parallelo. L'accoppiamento meccanico è eseguito da specifiche "sommatorie di ingranaggi", permettendo un rapporto di trasmissione continuamente variabile [5].

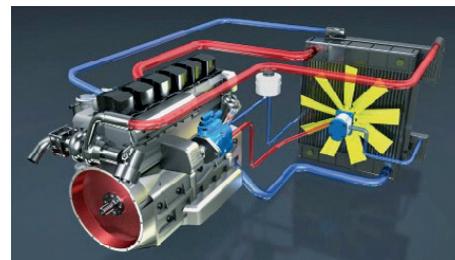


Fig. 8 – Servosterzo elettromeccanico, Volkswagen [8].

Applicazione	Funzione	Tipo	Attuazione
Servosterzo	Amplificazione coppia sterzante Assistenza sterzata Sterzata multipla, tutte le ruote sterzanti (AWS)	COM DAS, SAF DAS, SAF	A
Servofreno	Amplificazione forza frenante Dispositivo antibloccaggio (ABS) Controllo dinamico del veicolo (VDS) Freno a carico variabile	COM DAS, SAF SAF	A
Controllo coppia	Controllo e distribuzione della trazione tra le ruote	DAS, SAF	A, SA
Attuatori cambio	Attuazione del cambio, trasmissione a variazione continua CVT e frizione	COM	A
Molle ad aria avanzate	Molle ad aria, molle idropneumatiche	COM, DAS	SA
Trasmissioni a piccola potenza	Regolazione sedile Ventilazione aria Tergicristalli	COM SAF	A
Trasmissioni media potenza	Radiatore (ventilatore) Impianti da lavoro, gru, ribaltamento cassone, ecc	AUX	A

A : attivo, SA : semi attivo

Tab. 2 – Applicazioni delle trasmissioni ausiliarie.

Confrontando i sopra citati convertitori meccanici di energia (motori), possono essere viste notevoli distinzioni nelle prestazioni (fig. 6). Le differenze interessano le gamme di velocità applicabili delle rispettive trasmissioni. La gamma di velocità utilizzabile in un motore CI è abbastanza stretta, tale che un convertitore di coppia variabile ("cambio") è necessario per coprire l'intero arco di velocità dell'automobile.

Sia la EMG sia la HPD offrono una buona efficienza, tuttavia in opposizione alla HPD, la EMG è in grado di gestire una relativamente ampia area di operazioni. Questo rende possibile l'applicazione di una EMG con un solo rapporto di trasmissione per tutto il range della velocità del veicolo (fig. 7). La HPD richiede un rapporto di ridu-

zione delle marce variabile per le ruote per una efficiente operazione.

Al contrario delle locomotive del treno, questo concetto non è ancora applicato in trasmissioni automobilistiche. Quando viene applicato alle automobili, ad esempio come in figura 5, la HPD regge solo i range a bassa velocità oltre i quali solitamente viene disinserita.

Le EMG in aggiunta alle HPD sono qualificati per fungere rispettivamente da generatore e pompa, che consentono di recuperare l'energia in frenata. Mentre la conservazione della pressione idraulica è abbastanza limitata per il recupero di energia dell'automobile, lo stato di carica (SOC) delle batterie o del supercap sarà definito dalla quantità di energia recuperabile raggiungibile.

In conclusione, il concetto di trasmissione a trazione alternativa può essere destinato a diventare un successo, se

- si consente di far girare il motore CI in una zona di efficienza più favorevole (nel caso di una trasmissione ibrida);
- si esegue la sequenza più breve possibile di conversione di energia (nel caso di una trasmissione alternativa pura senza motore CI), in particolare se è necessaria solo una conversione di energia, può essere ovviamente soddisfatta da una trasmissione a trazione elettrica (fig. 3).

Trasmissioni aggiuntive e ausiliarie

Lontano dalle situazioni innovative delle trasmissioni a trazione esiste una distinta competizione tra le trasmissioni a potenza elettrica o fluida per gli attuatori ausiliari. Le ulteriori innovazioni possibili nel settore delle trasmissioni secondarie sono:

- risparmio di energia e riduzioni del consumo di carburante,
- adozione di nuove funzioni, in particolare nel campo dei sistemi di assistenza delle trasmissioni,
- miglioramento dei comfort,
- potenziamento della sicurezza del veicolo attivo e integrato,
- riduzione dei costi produzione e di mantenimento riducendo il numero di supporti operativi installati (lettrici liquidi e gassosi).

L'ingegneria automobilistica offre un'ampia gamma di applicazioni per le trasmissioni aggiuntive ("ausiliarie"), che possono essere classificate rispetto alla loro maggiori funzioni SAF ... sicurezza, DAS ... assistenza alla guida, COM ... comfort, AUX ... funzioni ausiliarie.

La tabella delle applicazioni (tab. 2) non ha l'intento di essere esaustiva.

Le realizzazioni tecniche delle trasmissioni ausiliarie è in parte differente per le vetture passeggeri e i veicoli commerciali. Le distinzioni tecnologiche derivano dalle diverse condizioni in cui operano i tipi diversi di veicoli, piuttosto che da ragioni storiche. Alcune delle applicazioni sopra elencate devono essere considerate un po' più in dettaglio.

Fig. 9 – Compressore ad aria On-demand, MAN [6].



Soluzioni selezionate

La competizione in corso tra i diversi sistemi di trasmissione viene presa in esame con l'aiuto di alcuni esempi di applicazione.

Trasmissioni di media grandezza

Oggigiorno, l'elettroventilatore è la soluzione standard per le ventole del radiatore nelle autovetture e nei veicoli commerciali leggeri. A causa delle crescenti limitazioni di spazio dei progetti, autobus pesanti con motori posteriori preferiscono le trasmissioni a energia idraulica a per via della loro densità di potenza più vantaggiosa (fig. 7). La maggior parte dei veicoli commerciali pesanti utilizza invece i classici ventilatori azionati meccanicamente con la temperatura controllata da frizioni viscosi. Riguardo alle trasmissioni di potenza idrauliche di media grandezza (relativi alla fonte di alimentazione principale del veicolo) si possono invece individuare i veicoli commerciali come il campo principale di applicazione.

Servosterzo

Il servosterzo idraulico convenzionale viene sempre più rimpiazzato dal servosterzo elettrico. Il processo di sostituzione avviene in due fasi: il servosterzo elettrico-idraulico consente una propulsione flessibile "on-demand" della pompa idraulica e il servosterzo totalmente elettrico (fig. 9) che rende facile

implementare e controllare le funzioni aggiuntive come

- assistenza al parcheggio,
- assistenza corsia (lane keeping)
- compensazione di disturbo

Per quanto riguarda l'elettrofornitura in corso delle automobili, si può identificare lo svantaggio della bassa tensione (12 volt nelle automobili, 24 nei camion e negli autobus) come l'handicap/ostacolo principale per i sistemi ausiliari elettrici. Una volta ottenuta l'alta tensione a bordo come scorta per le trasmissioni a trazione elettrica pura o ibride, ci si può aspettare un grande passo avanti nelle trasmissioni ausiliarie elettriche. Sistemi a molla pneumatica

Dal momento che i sistemi a molla pneumatica sono in grado di soddisfare elevati requisiti rispetto alla flessibilità operativa, comfort e sicurezza, ci si può aspettare la loro successiva applicazione nelle automobili. Questo non include solo i veicoli commerciali ma riguarda anche le autovetture del segmento di maggior valore.

Anche nei veicoli commerciali moderni, le molle pneumatiche hanno coperto un settore di applicazioni: molle dei telai, assali, molle per cabine di guida e sedili. In combinazione con il sistema di freno pneumatico l'aria compressa fornisce un'ottima fonte di energia in autocarri pesanti e autobus, tuttavia, l'attuazione ad aria compressa è "troppo lenta" per il con-

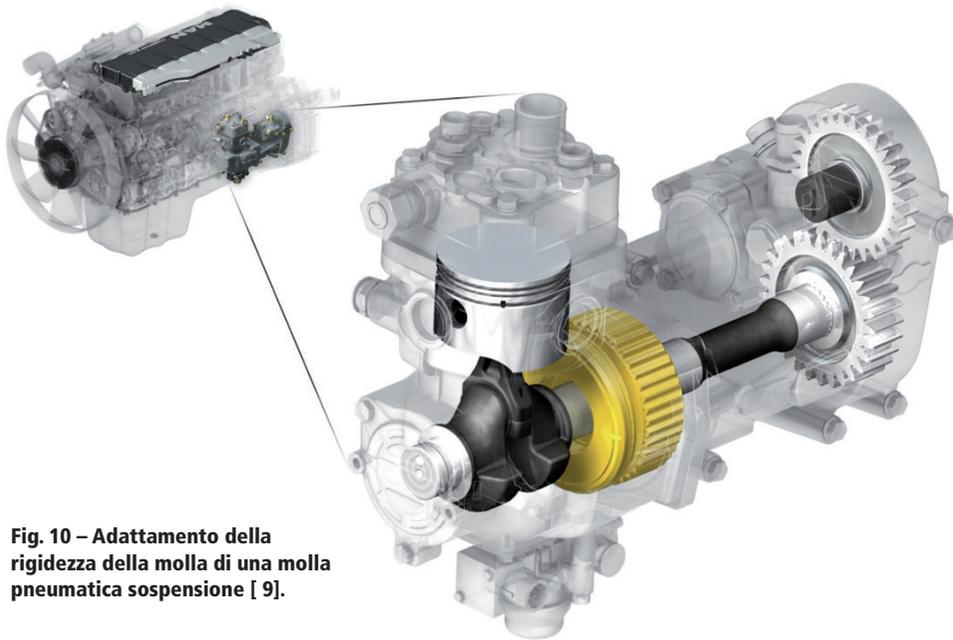


Fig. 10 – Adattamento della rigidità della molla di una molla pneumatica sospensione [9].

trollo ad alta frequenza. Le realizzazioni semi-attive offrono il controllo della rigidità della molla al fine di limitare l'energia addizionale. Simile ad altre applicazioni automotive grande attenzione viene spesa per qualsiasi concetto di offerta "power on demand" (fig. 10).

I particolari vantaggi delle molle pneumatiche sono

- adattamento di rigidità al carico variabile,
- regolazione di altezza della sospensione
- attrito ridotto
- isolamento del rumore strutturale.

La prima voce "adattamento alla rigidità" mira ad una frequenza naturale costante nel grado di libertà verticale del veicolo (fig. 11). A causa della natura politropica della trasformazione nella camera della sospensione a molla pneumatica è possibile ottenere una legge di rigidità della molla vicina al comportamento elastico lineare (fig. 12).

Tendenze future

Gli sviluppi attuali mostrano differenti tendenze future nell'applicazione di soluzioni a potenza elettrica o fluida per le automobili

e i veicoli commerciali. La tabella 3 fornisce una vista di insieme degli ultimi cambiamenti nella tecnologia delle trasmissioni automobilistiche (dal lato delle trasmissioni ausiliarie). Mentre l'elettrificazione delle autovetture è ancora in corso esistono valide alternative per soluzioni affidabili su veicoli commerciali, in particolare nel campo della pneumatica (azionamento di freni e molle) ed anche nei dispositivi ad azionamento idraulico. In ogni caso, il progresso di elettrificazione sarà stimolato a causa della prossima disponibilità di alta tensione a bordo.

Previsioni a lungo termine per le tecnologie delle trasmissioni per autoveicoli dovrebbero prendere in considerazione non solo gli elementi tecnici, ma anche i cambiamenti previsti nel traffico e nei trasporti.

Al fine di affrontare sfide come il risparmio delle risorse mondiali, in particolare le fonti non rinnovabili, è prevista una diversificazione delle automobili. Invece degli odierni "veicoli polivalenti" si presenteranno veicoli specializzati, ad esempio per operazioni intra-urbane.

Questo sarà fortemente influenzato dalle tecnologie di trasmissione applicate nella direzione di veicoli alimentati in modo ragionevole, dove noi siamo ancora molto lontani. Alcuni attributi di comfort non saranno necessari, ad esempio i veicoli urbani

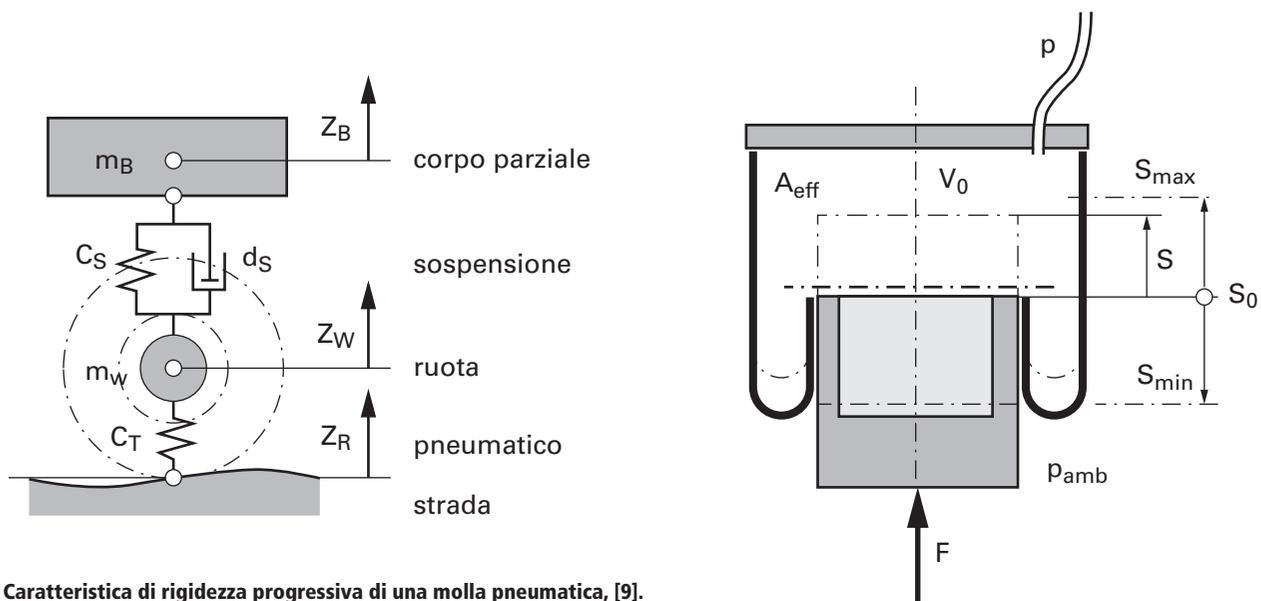


Fig. 11 – Caratteristica di rigidità progressiva di una molla pneumatica, [9].

leggeri non avranno necessariamente bisogno di un servosterzo. A questo punto, le autovetture hanno un maggior potenziale in termini di efficienza rispetto ai più razionali veicoli commerciali.

Conclusioni

Trasmissioni automobilistiche a potenza elettrica o fluida sono oggetto di numerose e distinte competizioni. Stimolato dalla crescente elettrificazione delle trasmissioni per trazione, il cambiamento tecnologico in corso influenza le trasmissioni (“ausiliarie”).

Questo processo è guidato dalla necessità di ridurre il consumo di energia, in particolare il consumo dei carburanti fossili durante la produzione e l’uso delle automobi-

li. La realizzazione tecnica degli ausiliari è parzialmente diversa per le autovetture e i veicoli commerciali.

Le distinte tecnologie derivano dalle diverse condizioni operative dei tipi di veicolo, piuttosto che da ragioni storiche. Mentre l’elettrificazione delle autovetture progredisce ancora, soluzioni per alternative elettriche affidabili per veicoli commerciali difficilmente hanno fortuna, in particolare nel campo della pneumatica dell’azionamento di freni e molle ed anche nei dispositivi ad azionamento idraulico.

In ogni caso, una volta avuta alta tensione a bordo come scorta per le trasmissioni a trazione elettrica pure o ibride, ci si può aspettare un importante passo avanti nelle trasmissioni ausiliarie elettriche. Per le ap-

plicazioni automobilistiche con trasmissione di potenza a mezzo fluido, la riconquista del terreno perduto sarà difficile. Ha successo solo in alcuni campi di applicazione, dove si possono offrire alternative funzionali convincenti combinate con adeguate funzioni “tank-to-wheel”.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Testo originale:

“On the Competition between Fluid and Electric Automotive Drives, 8th International Fluid Power Conference, March 26-28, 2012, Dresden”.

Traduzione e adattamento a cura di Roberto Grassi

Applicazione	Funzione	Attuazione Elettrica	Attuazione A fluido
Servosterzo	Amplificazione coppia sterzante Assistenza sterzata Sterzata multipla, tutte le ruote sterzanti (AWS)		
Servofreno	Amplificazione forza frenante Dispositivo antibloccaggio (ABS) Controllo dinamico del veicolo (VDS) Freno a carico variabile		
Controllo coppia	Controllo e distribuzione della trazione tra le ruote		
Attuatori cambio	Attuazione del cambio, trasmissione a variazione continua CVT e frizione		
Molle ad aria avanzate	Molle ad aria, molle idropneumatiche		
Trasmissioni a piccola potenza	Regolazione sedile Ventilazione aria Tergicristalli		
Trasmissioni media potenza	Radiatore (ventilatore) Impianti da lavoro, gru, ribaltamento cassone, ecc		

Tab. 3 – Tendenze future a corto/medio termine per applicazioni a potenza elettrica e fluida in ingegneria automobilistica.

Bibliografia

- [1] Buksnowitz, C., Hirschberg, W.: Reasonability of the drive power of passenger cars available in Europe in 2010. 13th EAEC European Automotive Congress, Valencia, 13.-16.6.2011, paper EAEC2011-E35, pp. 1-13.
- [2] Schlesinger, M., Lindenberger, D., Lutz, C.: „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung – Projekt Nr. 12/10“. Study compiled by Prognos AG, EWI and GWS on behalf of BMW (Germany), 2010.
- [3] DIN 70010 Systematik der Straßenfahrzeuge. Deutsches Institut für Normung. Consistent to ISO 3833 Road Vehicles – Types - Terms and Definitions. International Organization for Standardization.
- [4] Braess, H.-H., Seiffert, U.: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Vieweg Verlag, 5. Auflage, Wiesbaden 2007.
- [5] Kelz, G.: Modular modeling and simulation of hybrid power trains. Doctoral thesis, TU Graz, 2010.
- [6] MAN Trucks & Bus AG: Fundamentals of commercial vehicles technology. Kirschbaum Verlag, Bonn, 2009.
- [7] Bosch Rexroth AG: <http://www.boschrexroth.com>, Hydrostatische Lüfterantriebe, accessed on 14.01.2012
- [8] Volkswagen AG: <http://www.volkswagen.de>, 2012, Technik-Lexikon, accessed on 14.01.2012
- [9] Hirschberg, W., Prenninger, K.: Nutzfahrzeugtechnik, Kap. Fahrwerk. Lecture notes, FTG, TU Graz, 2011/12