



Veicoli Elettrici e Ibridi

Classificazione, funzionamento, manutenzione
p.p. 373-394 Tecnica dell'Automobile



Perché?

			EU-1	EU-2	EU-3	EU-4	EU-5a	EU-5b	EU-6b	EU-6c
			1992	1996	2000	2005	2009	2011	2014	2017
Test Cycle 			ECE 15.04	ECE 15.05	NEDC	NEDC	NEDC	NEDC	NEDC	WLTC
Positive Ignition Engines (Gasoline)	CO	mg/km	2720	2200	2300	1000	1000	1000	1000	1000
	HC	mg/km			200	100	100	100	100	100
	HC + NOx	mg/km	970	500						
	NOx	mg/km			150	80	60	60	60	60
	NMHC	mg/km					68	68	68	68
	PM only GDI	mg/km					5	4,5	4,5	4,5
	PN	#/km							6E12	6E11
Compression Ignition Engines (Diesel)	CO	mg/km	2720	1000	640	500	500	500	500	500
	HC + NOx	mg/km	970	700	560	300	230	230	170	170
	NOx	mg/km			500	250	180	180	80	80
	PM	mg/km	140	80	50	25	5	4,5	4,5	4,5
	PN	#/km						6E11	6E11	6E11
			no change	change	important					



Definizione

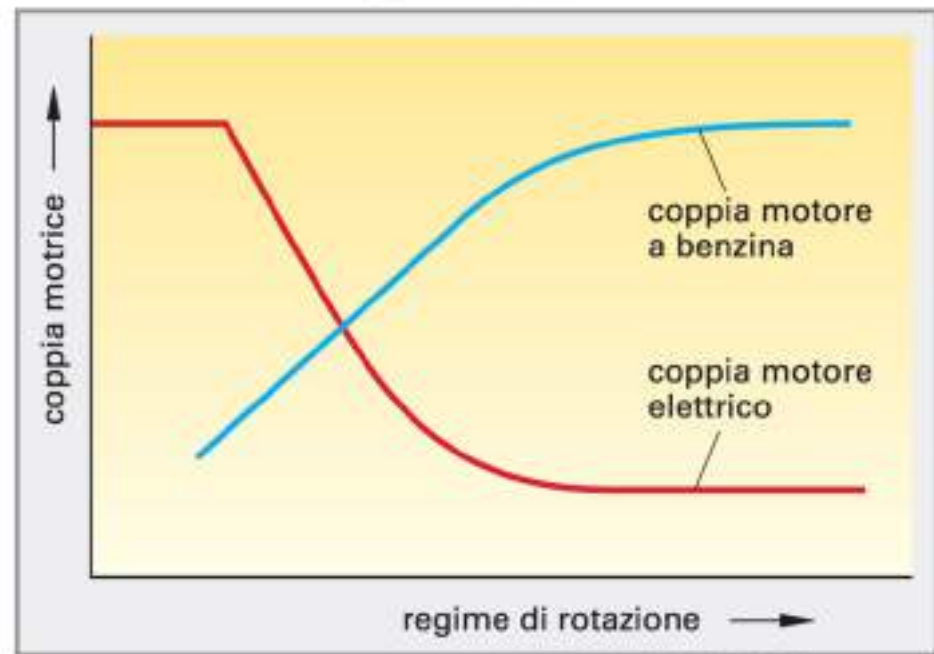
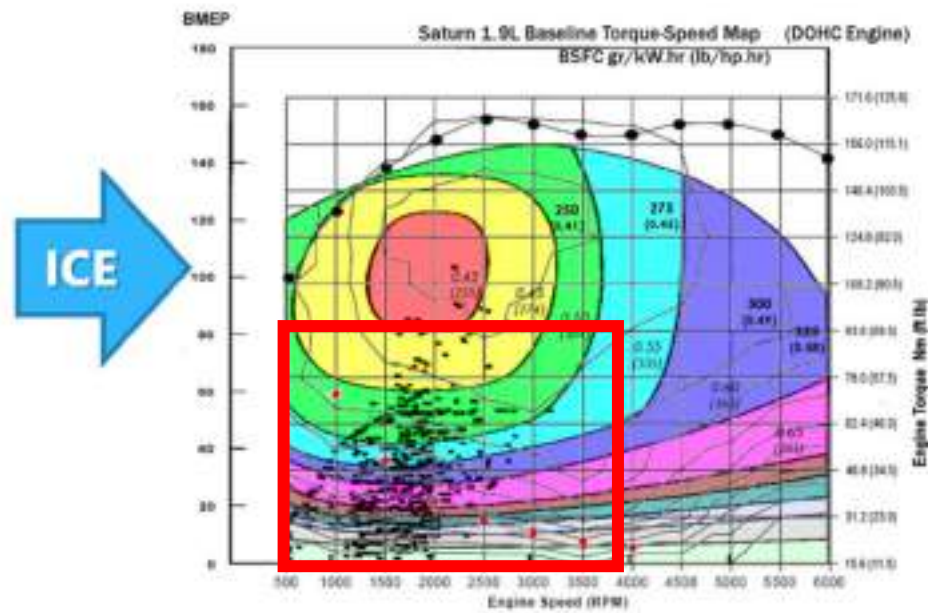
Si definiscono veicoli ibridi i veicoli che funzionano mediante più di una fonte d'energia.





Perché?

Engine Operation During City Driving Cycle





15.4.1 Classificazione delle trazioni ibride

I sistemi di trazione di tipo micro-ibrido (micro-hybrid), medio-ibrido (mild-medium-hybrid) e ibrido integrale (full-hybrid), si differenziano tra loro in funzione della potenza, in base alla tensione elettrica del sistema di trazione, alla funzione Start/Stop, alla frenata rigenerativa (recupero di energia), al sostegno di coppia e alla modalità di marcia elettrica (**fig.1**).

Micro-ibrido (Micro-hybrid) potenza (elettrica): da 3 a 5 kW tensione: ca. 14 V	Ibrido leggero/medio (Mild-medium-hybrid) potenza (elettrica): da 10 a 15 kW tensione: ca. 42-150 V	Ibrido integrale (Full-hybrid) potenza (elettrica): da 30 a 170 kW tensione: ca. 150-650 V
Start/Stop	Start/Stop	Start/Stop
	frenata rigenerativa	frenata rigenerativa
	sostegno di coppia	sostegno di coppia
		modalità di marcia elettrica



Mild Hybrid

Mild Hybrid o ibride “leggere”

Non esiste una definizione universalmente accettata di Mild Hybrid, in genere vengono definite tali le vetture il cui motore elettrico ha una potenza ridotta (10-20% di quella del motore termico) e le batterie consentono meno di un chilometro di percorrenza in elettrico e non sono in grado di percorrere nel funzionamento elettrico un ciclo guida normalizzato.

Secondo alcuni costruttori invece, sono da fare rientrare in tale categoria, le vetture ibride che non sono in grado di funzionare esclusivamente in elettrico.

Motore a benzina

Cilindrata cm ³	999
N° cilindri e disposizione	3 in linea
Potenza massima kW (CV)/giri	114 (155)/6000 giri
Coppia max Nm/giri	240/2500

Motore elettrico

Potenza massima kW (CV)/giri	11,5 (16)/n.d. giri
Coppia max Nm/giri	40/n.d.





Full Hybrid

Full Hybrid o ibride “pesanti”

Anche per quanto riguarda le cosiddette Full Hybrid, non esiste una definizione universalmente accettata, vengono fatte rientrare di solito in tale categoria le vetture il cui motore elettrico ha una potenza piuttosto elevata (superiore al 20% della potenza del motore termico) e sono in grado di percorrere almeno un ciclo di guida normalizzato.

Secondo alcuni costruttori invece sono da fare rientrare in tale categoria le vetture ibride che sono in grado di funzionare esclusivamente in elettrico, indipendentemente dall'autonomia della batteria.

All'interno delle vetture Full Hybrid ritroviamo anche le cosiddette **Plug-In** che sono quelle vetture ibride le cui batterie possono essere ricaricate anche mediante rete elettrica esterna, esattamente come una vettura esclusivamente elettrica.



Full Hybrid $\approx$ 5 km in elettrico

Plug-In $\approx$ 50 km in elettrico, ricarica a colonnina



I veicoli a trazione ibrida plug-in dispongono di una batteria che può essere caricata anche con la normale rete esterna (**fig. 1, pag. 383**).

Ibridi plug-in (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle) sono equipaggiati con una batteria di maggiori dimensioni rispetto a un normale veicolo ibrido e rappresentano, in tal modo, una forma mista tra un veicolo ibrido e un veicolo elettrico. Tramite la maggior capacità della batteria, il veicolo possiede un'autonomia di percorrenza superiore rispetto a quella di un veicolo a modalità esclusivamente elettrica; inoltre, è in grado di funzionare anche con l'apporto di un comune motore termico.

Sistemi di presa (fig. 2). I sistemi di ricarica standard prevedono l'utilizzo di prese monofasi da 230 V, così come di prese trifasi da 400 V fino a 63 A di corrente di carica. La ricarica con corrente trifase diminuisce il tempo di carica di circa il 10% rispetto alla carica in monofase.

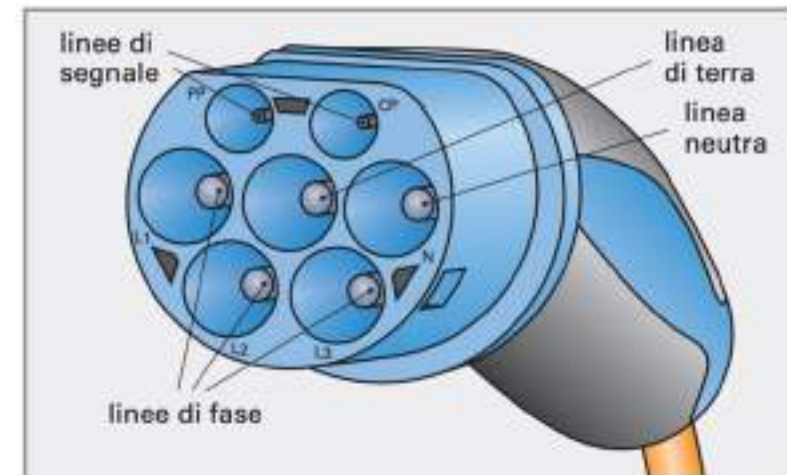


Figura 2: Presa di carica



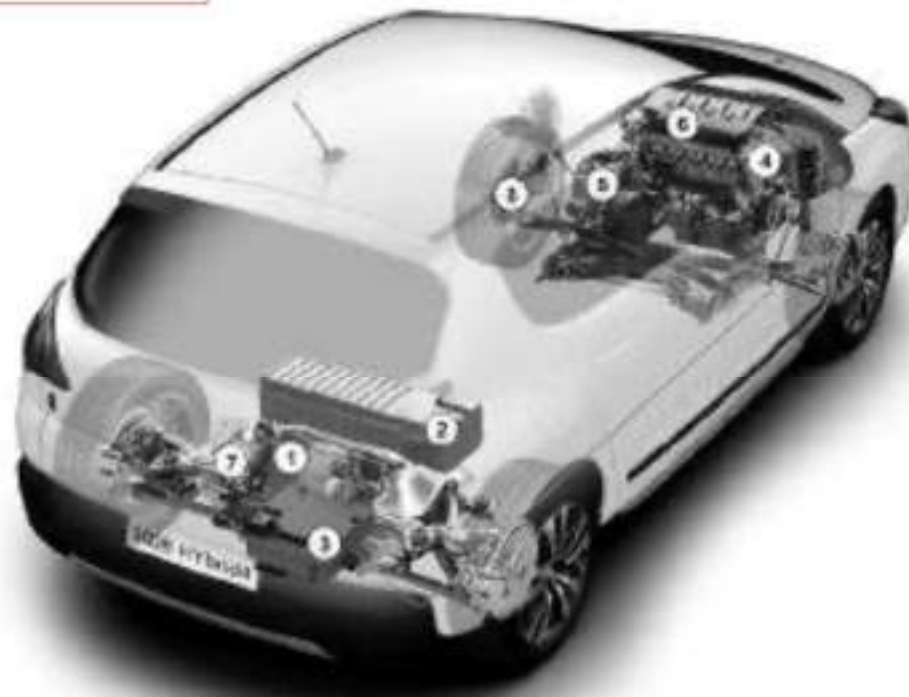
Struttura

Si distinguono sistemi ibridi in serie e sistemi ibridi in parallelo. Sovente, lavorano in combinazione.

La combinazione di un sistema ibrido in serie con un sistema ibrido in parallelo è definita come ibrido a derivazione di potenza o ibrido misto.

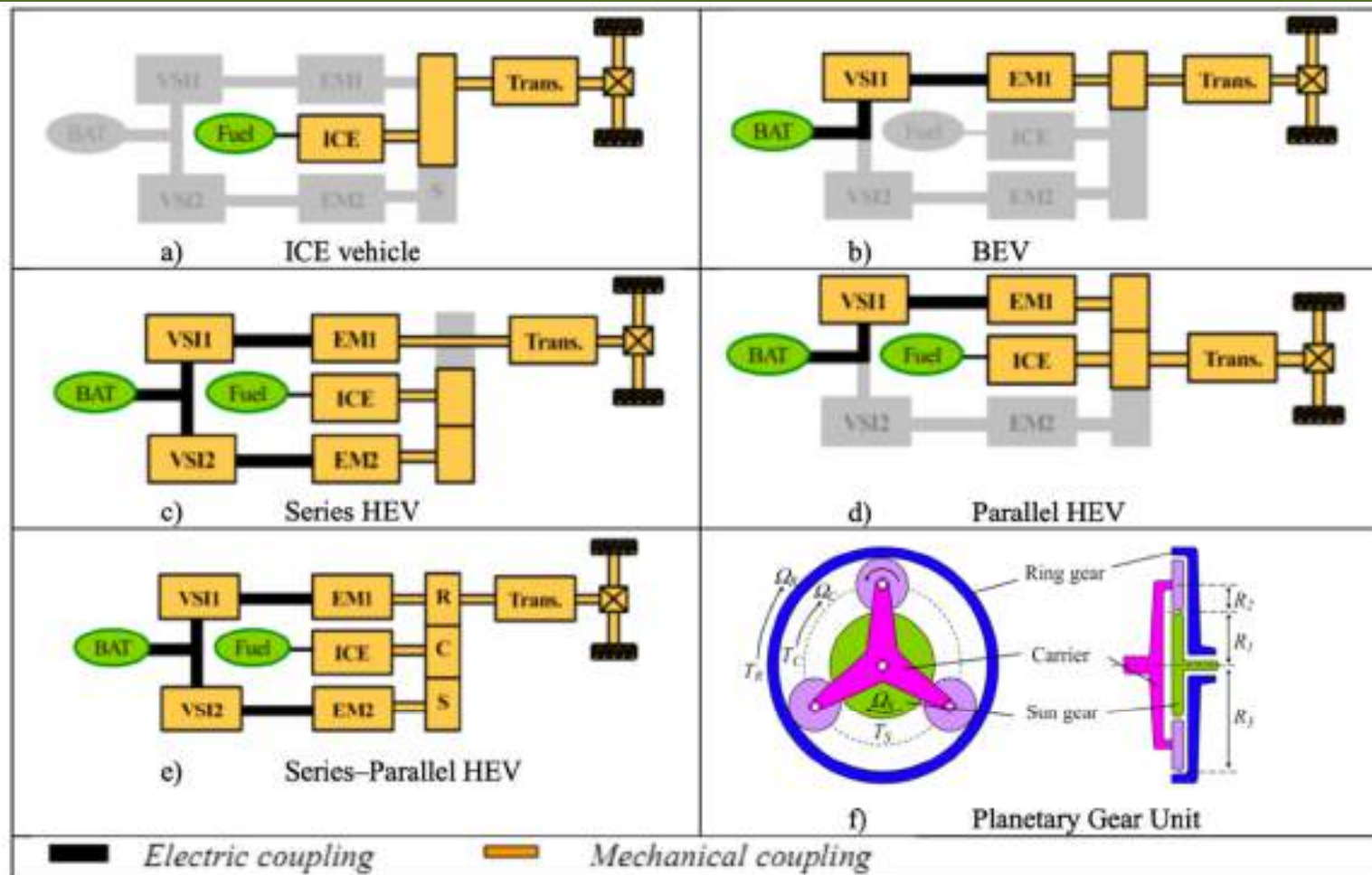
Componenti della catena di trazione ibrida.

- 1 Motore elettrico
- 2 Batteria di trazione
- 3 Calcolatore ibrido
- 4 Alternatore reversibile
- 5 Cambio
- 6 Motore termico
- 7 Riduttore a comando elettrico e differenziale





Ibrido Serie e Parallelo



ICE – Internal Combustion Engine; Bat: Battery; VSI: Voltage Source Inverter; EM: Electric Machine; Trans: Mechanical Transmission; HEV – Hybrid Electric Vehicle; BEV: Battery Electric Vehicle.



Ibrido Serie

Sistema ibrido in serie (fig. 1)

Nel sistema ibrido in serie, il motore a combustione interna aziona il generatore. L'energia elettrica prodotta in questa modalità è utilizzata da un motore elettrico come trazione.

L'energia elettrica è accumulata nelle batterie per mezzo di un "inverter" e, all'occorrenza, può essere richiamata per la sola ed esclusiva trazione elettrica. L'inverter trasforma l'energia elettrica prodotta dal generatore sotto forma di corrente alternata in corrente continua, in modo che possa essere accumulata nella batteria.

I veicoli ibridi serie sono chiamati anche veicoli elettrici a motore termico supplementare.

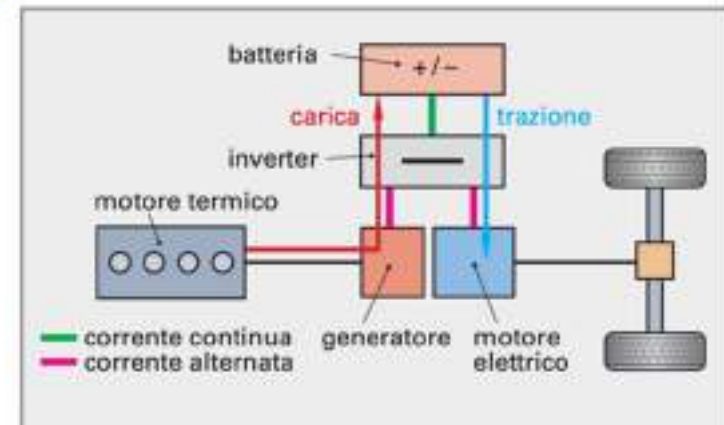


Figura 1: Sistema ibrido in serie (principio)

Nei sistemi ibridi in serie, sono compresi anche i veicoli elettrici che dispongono di un motore termico supplementare (fig. 2).

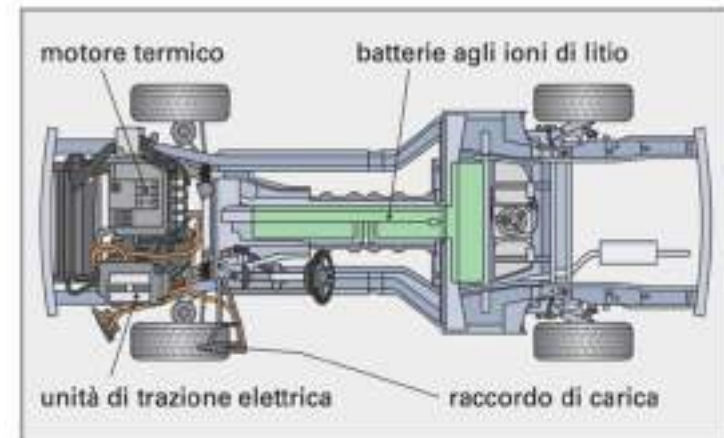
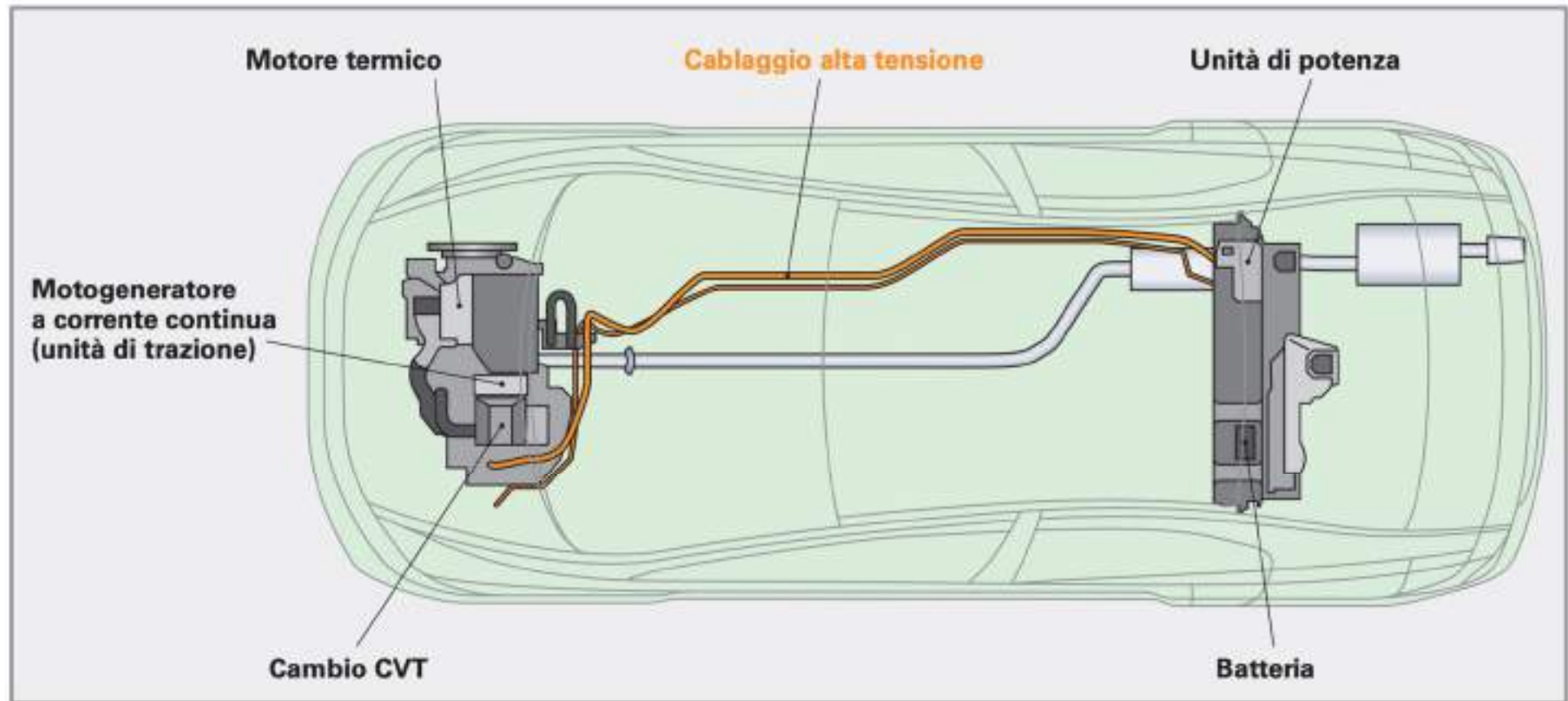


Figura 2: Sistema ibrido in serie



Ibrido Parallelo





Ibrido Parallelo

Sistema ibrido in parallelo

Il motore elettrico e quello termico possono essere utilizzati contemporaneamente o singolarmente, passando alternativamente da uno all'altro, a seconda delle esigenze date dalle condizioni d'uso.

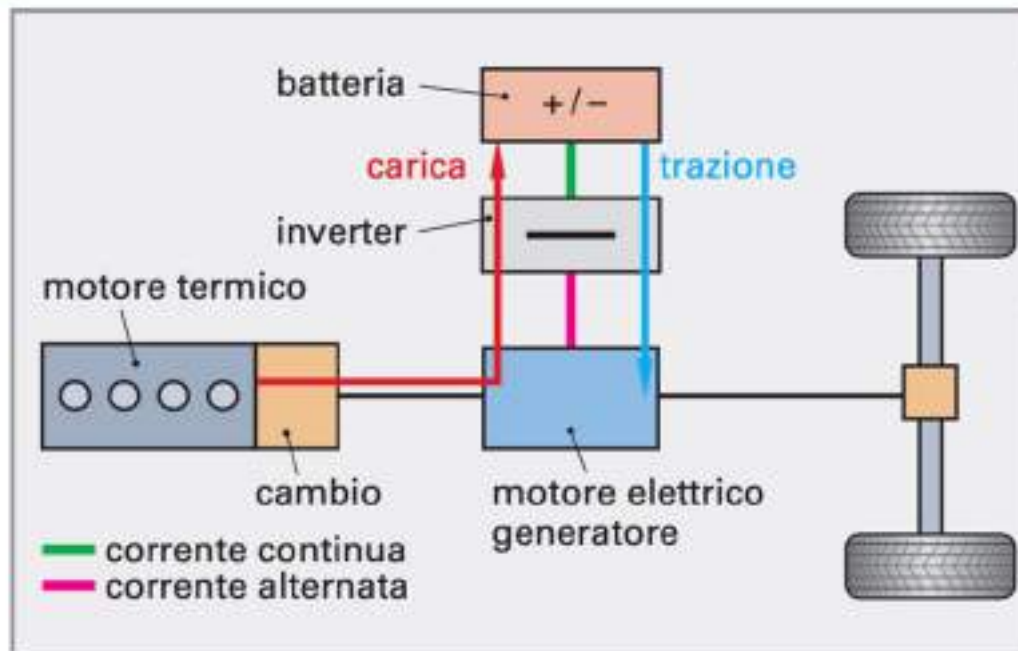
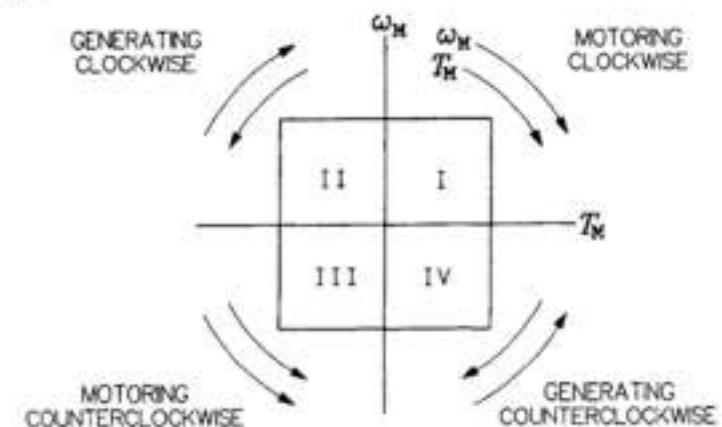


Figura 3: Sistema ibrido in parallelo (principio)

Carica delle batterie. Il motore elettrico può anche lavorare come generatore. In questo caso, la batteria può essere caricata durante la marcia, oppure in rilascio/frenata (recupero in frenata, fig. 3).

Trazione. In questo sistema, il collegamento tra motore termico ed elettromotore è rigido ed è realizzato, per esempio, tramite una flangiatra tra albero motore ed elettromotore. In questo caso, l'elettromotore (motore sincrono a eccitazione permanente) può essere anche impiegato come dispositivo di avviamento. Grazie alla sua configurazione, è possibile collocarlo tra motore e cambio. L'elettromotore riprende nel contempo anche la funzione di albero di equilibratura (fig. 1). Come cambio è maggiormente utilizzato il tipo CVT (Continuous Variable Transmission).





Ibrido Parallelo

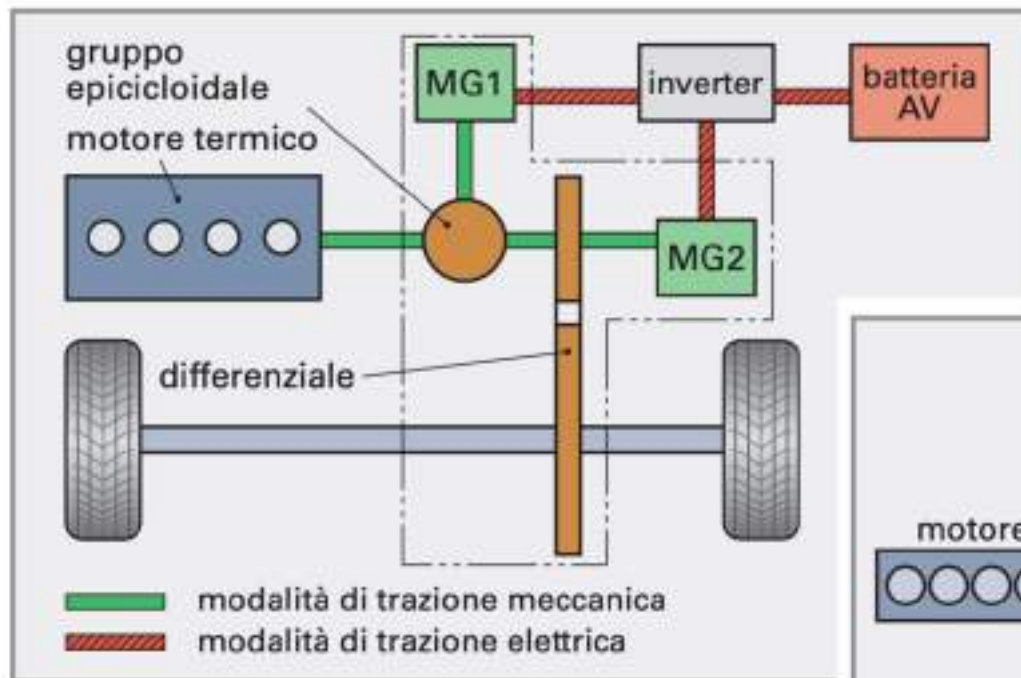


Figura 3: Schema strutturale di trazione ibrida

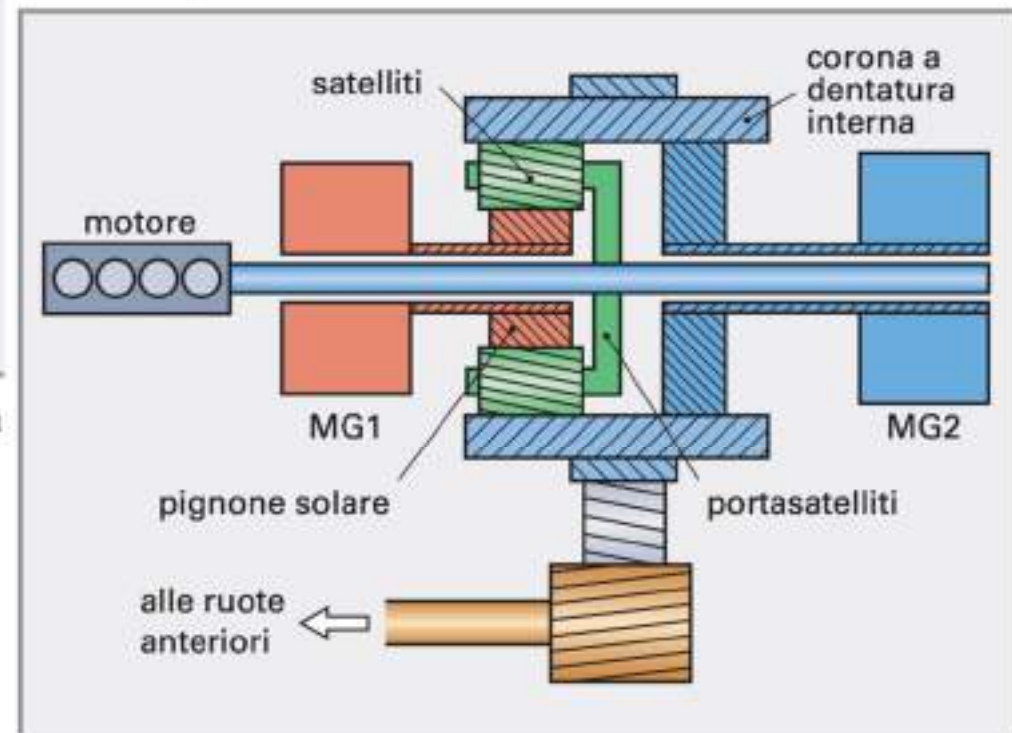


Figura 3: Gruppo di trasmissione planetario



Ibrido Parallelo

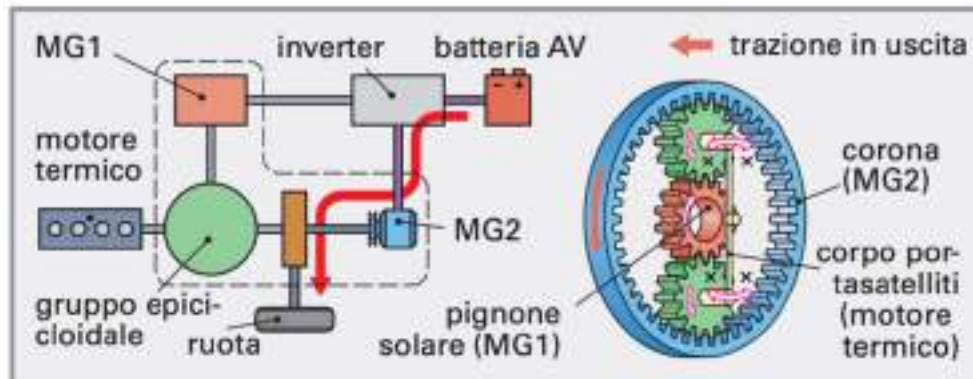


Figura 4: Fase di partenza

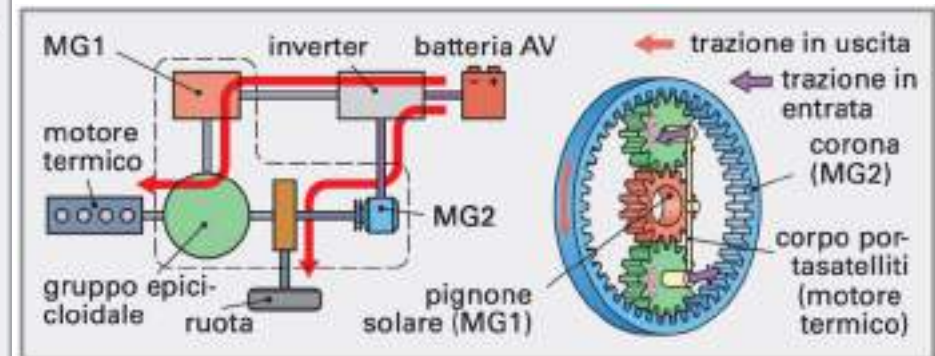


Figura 5: Avviamento del motore Otto

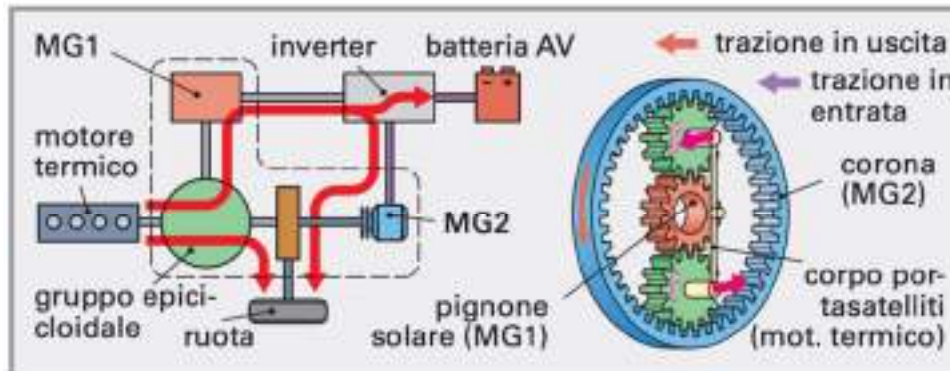


Figura 1: Marcia a basso carico

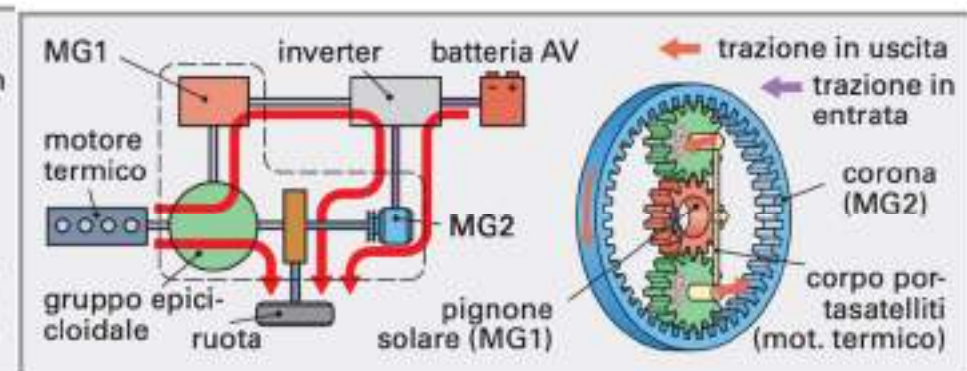


Figura 2: Accelerazione a pieno gas



Ibrido Parallelo

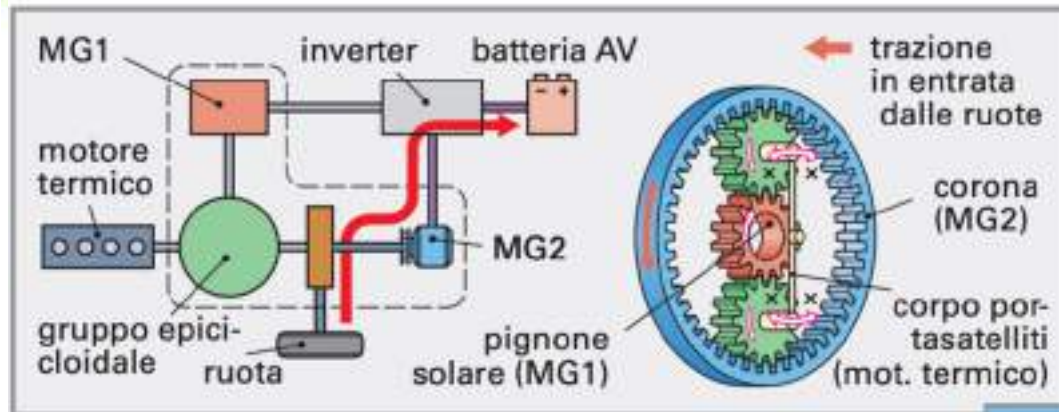


Figura 3: Rallentamento



Figura 2: Componenti della trazione ibrida



Esempi

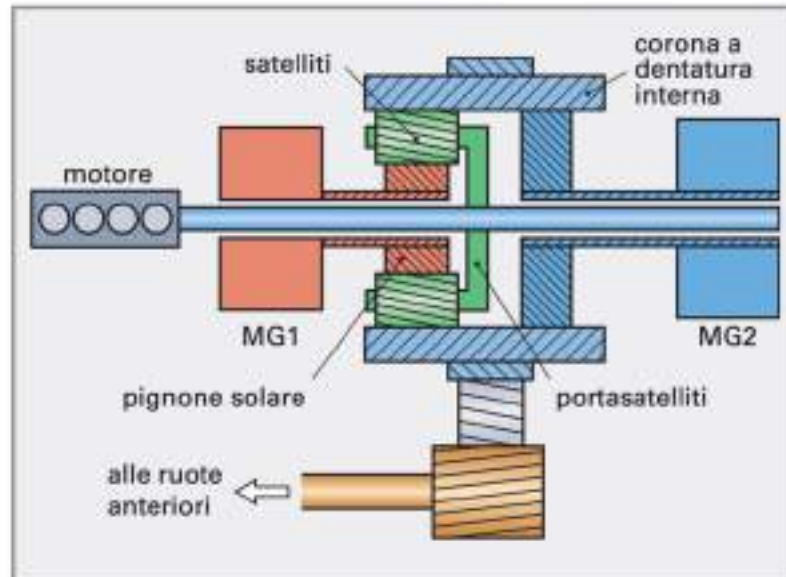


Figura 3: Gruppo di trasmissione planetario



Figura 1: Sistema ibrido in parallelo



Batterie

Tabella 1: Caratteristiche delle batterie

Accumulatori al nichel-idruro di metallo (NiMH)	Accumulatori agli ioni di litio (ioni Li)
• Peso elevato • Costi di produzione relativamente bassi • Bassa necessità di gestione batteria, di raffreddamento e di coperture di protezione	• In raffronto a NiMH, più alta densità energetica (tensione di cella più elevata) • Alto grado di efficienza • Basso tasso di aut scarica • Criticità alle basse temperature, alle situazioni di sovraccarica e di scarico completo, ai danneggiamenti meccanici

Accumulatori al nichel-idruro di metallo (NiMH)

Le celle di un accumulatore al nichel-idruro di metallo (dette nichel metallo idruro o, impropriamente, nichel metalidrato) dispongono di più celle, costituite ognuna da una piastra positiva, una piastra negativa e un elettrolito (soluzione di idrossido di potassio).

Struttura. La piastra positiva (MH) è costituita da una lega ricavata da una miscela di metalli con elevato contenuto di elementi del tipo “terre rare” (detti anche “metalli di terre rare”), per esempio lantanio, cerio e neodimio.

La piastra positiva può accumulare idrogeno che, quando viene inserito nel reticolo cristallino, compone così un idrogenato metallico.

Le “terre rare” sono ricavabili con procedimenti complessi e, in quanto sostanze tossiche, la loro scomposizione è correlata con un elevato rischio ambientale.



Batterie NiMH

Il legame di metallo con idrogeno è definito idrogenato metallico. In questo procedimento, le molecole di idrogeno sono dapprima assorbite dalla superficie del metallo e, poi, fissate nella struttura cristallina come idrogeno elementare.

La piastra negativa è costituita da ossidrossido di nichel (NiO(OH)). Questa piastra è più grande di quella positiva.

In **fig. 1** è illustrata la struttura di una cella NiMH.

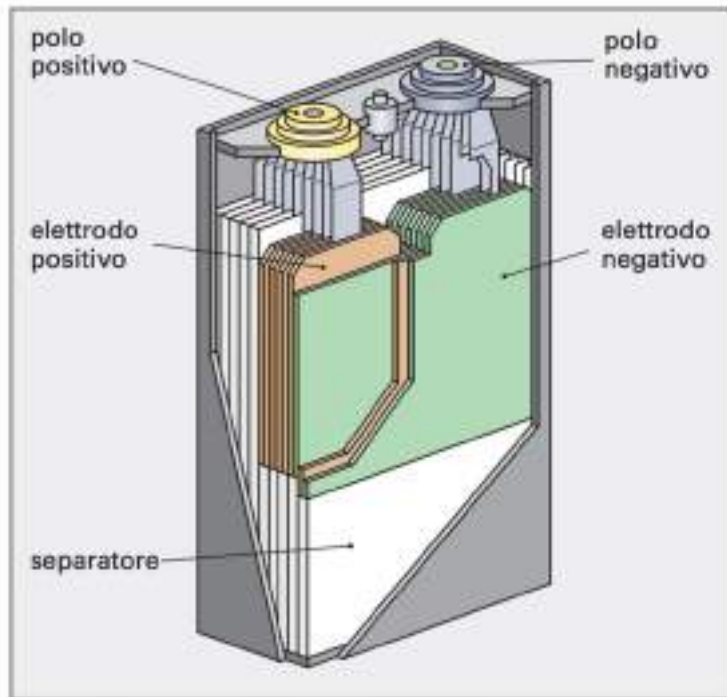


Figura 1: Struttura di una cella NiMH

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Manutenzione

Nel contesto di un'ispezione del veicolo, devono essere controllati lo stato di carica e la differenza di carica dei singoli moduli della batteria AV. Una differenza di carica troppo alta dei moduli può essere compensata mediante l'aiuto di uno speciale apparecchio di manutenzione.

Il liquido di raffreddamento del circuito dell'inverter deve essere sostituito regolarmente.

Disposizioni di sicurezza

In caso di negligenza durante l'intervento, il circuito ad alta tensione del sistema ibrido può portare a ferite gravi o anche mortali.

Per interventi sui veicoli ibridi, attenersi strettamente alle indicazioni di sicurezza del costruttore.



Batterie Li-Ion

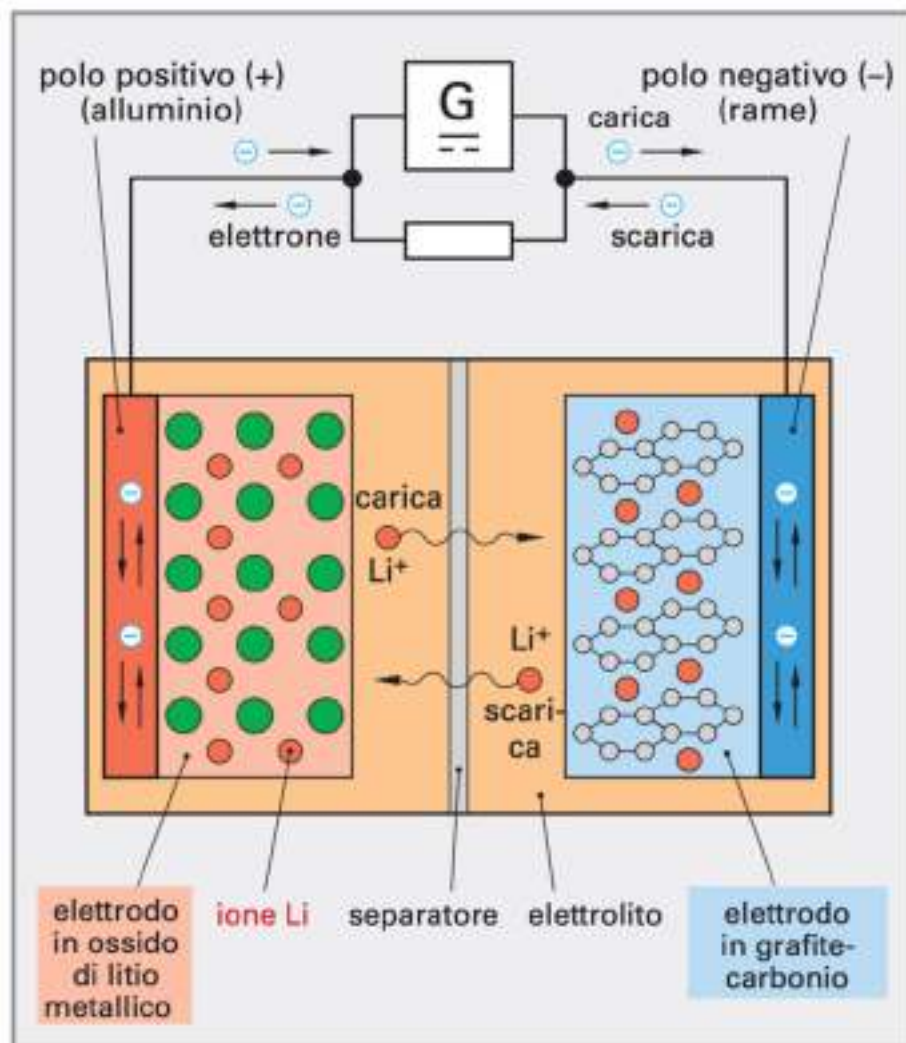
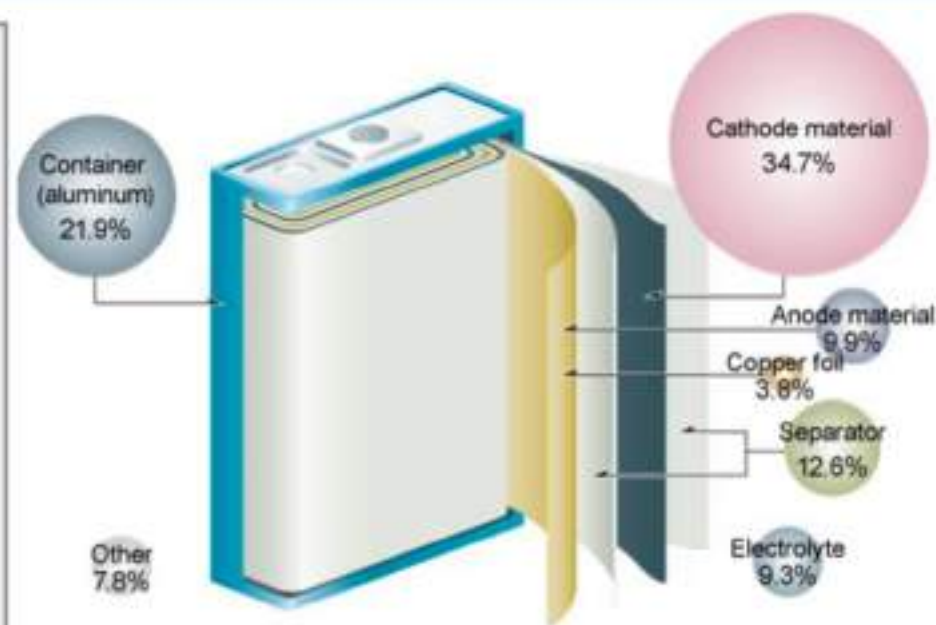


Figura 1: Accumulatore agli ioni di litio

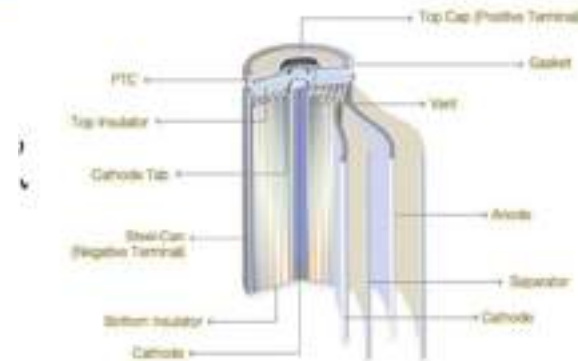


A causa dell'elevata energia e densità di potenza degli accumulatori agli ioni di litio, eventuali danni meccanici possono causare incendio oppure esplosione.



Batterie Li-Ion

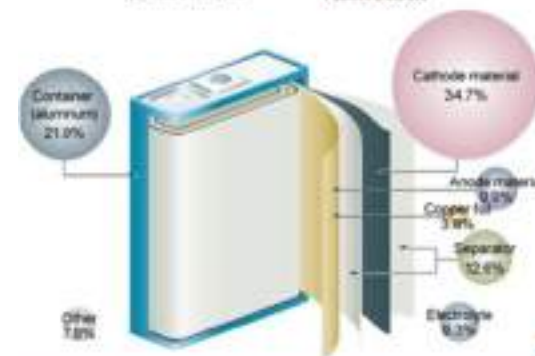
Celle Cilindriche



Celle a Sacchetto



Celle Inscatolate





Batterie Li-Ion

INDICAZIONI DI SICUREZZA

Al contatto con l'acqua dell'elettrolito esafluorofosfato di litio (LiPF_6) di un accumulatore agli ioni di litio, si forma acido al fluoruro di idrogeno (HF), denominato anche acido liquido, che, a contatto fisico, diventa un potente veleno.

Incendi di accumulatori agli ioni di litio non devono essere spenti con acqua.

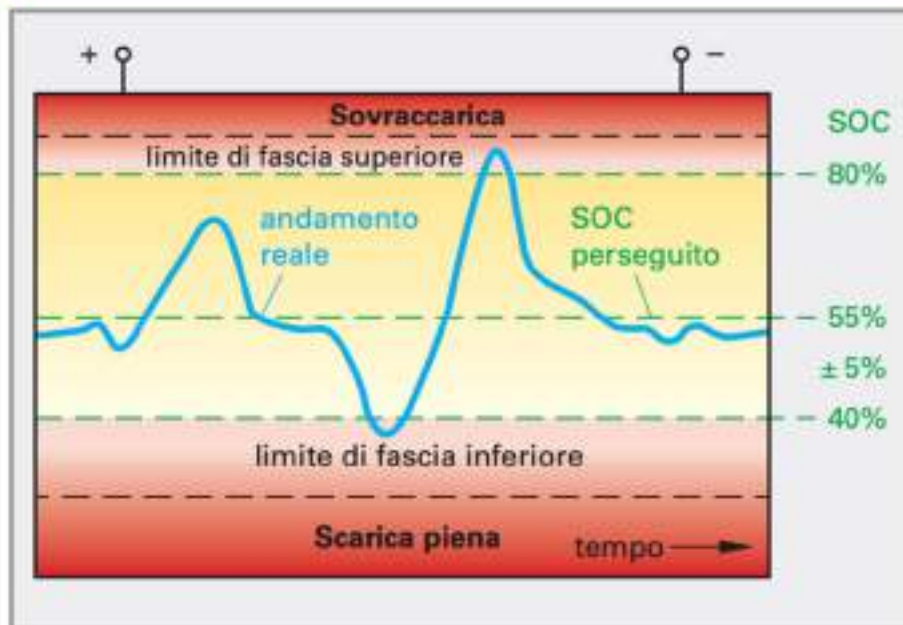


Figura 1: Andamento dello stato di carica

Processo di carica e fascia di lavoro

Lo stato di carica delle singole celle è differente nel corso di utilizzo. Per questo motivo, gli accumulatori NiMH sono sovraccaricati a bassa intensità di corrente e sotto il limite di gasificazione. Le celle piene trasformano la carica eccessiva in calore. Dopo una sovraccarica mirata, tutte le celle raggiungono il medesimo stato di carica.

Gli accumulatori agli ioni di litio vengono danneggiati irrimediabilmente quando sono sovraccaricati. La centralina di gestione della batteria monitora ogni cella e possiede, per ogni singola cella, un sistema di scarica attivabile. In questo modo, tutte le celle possono essere portate al medesimo stato di carica (SOC).

La fascia di lavoro degli accumulatori si trova in una finestra SOC del 50-80% (fig.1).

La durata nel tempo e la potenza degli accumulatori dipendono essenzialmente dalla loro temperatura di esercizio.

Alte temperature distruggono le celle, a basse temperature i processi elettrochimici sono rallentati. La temperatura di esercizio ottimale si situa a circa 20 °C.



Pacchi Batterie





Motori Elettrici

Motori asincroni

Struttura del rotore (fig. 1). Per la trazione di veicoli a motore asincrono, sono adottati per lo più rotor a cortocircuito. Il rotore è costituito da una gabbia metallica fornita di segmenti di conduzione e di anelli di cortocircuito solidali all'albero del rotore.

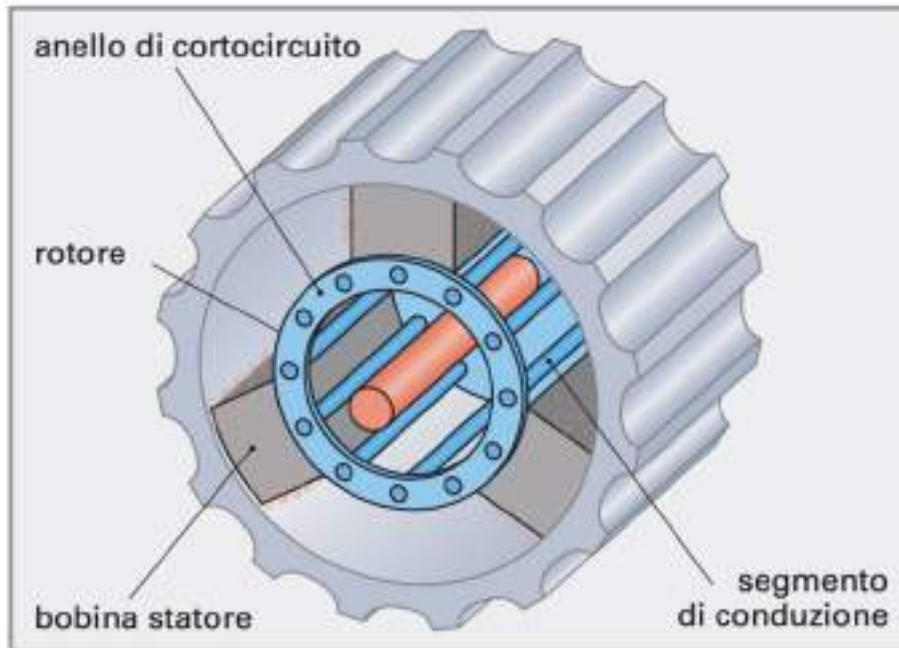


Figura 1: Struttura di una macchina asincrona con rotore a cortocircuito

Motori sincroni

Struttura del rotore. Per le trazioni a motore sincrono sono adottati per lo più rotor a magneti permanenti. Si distinguono due tipologie: una a rotore interno e l'altra a rotore esterno.

Rotore interno (fig. 2a). Per originare il campo magnetico sulla parte esterna del rotore, sono fissati dei magneti permanenti.

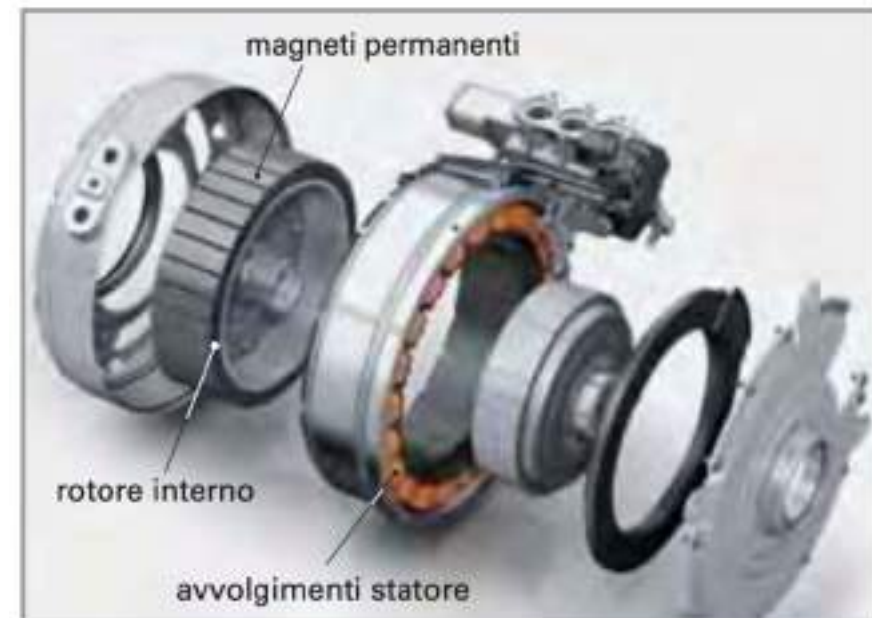


Figura 2a: Struttura di un motore sincrono a rotore interno



Alta Tensione

Indicazioni di sicurezza. La tensione d'esercizio di motori a campo rotante può raggiungere valori fino a 500 V. Pertanto, è assolutamente necessario seguire le regole di sicurezza durante i lavori su unità di trazione elettrica. Tali regole sono indicate dalle associazioni professionali competenti.

Misurazioni e interventi a unità di trazione elettriche devono essere eseguite solamente dopo aver disinserito il circuito ad alto voltaggio. Il circuito ad alto voltaggio può essere privato di tensione solo da personale qualificato (cfr. anche pag. 387).

Interventi su veicoli ad alto voltaggio devono essere eseguiti unicamente da parte di personale qualificato.

Nell'officina di servizio, si può intervenire solamente su veicoli dotati di auto-sicurezza all'alto voltaggio (AV), definiti "veicoli autosicuri AV".

Indicazioni relative alla diagnosi di errori. I motori a campo rotante vengono sottoposti a diagnosi attraverso la centralina di potenza. Mediante l'auto-diagnosi si possono rilevare i seguenti valori reali:

- numero di giri (regime di rotazione);
- intensità di corrente di fase;
- resistenze di isolamento;
- temperature del motore a campi rotanti e dell'elettronica di potenza;
- posizione del rotore della macchina a campi rotanti;
- resistenza di isolamento del sistema ad alto voltaggio.

Ricerca guasti guidata	Audi		
Controllo funzionalità	Audi Q5 2009>		
	2009 (9)		
	SUV		
Letture valori di misurazione	CHJA 2,0 TFSI / 180 kW		
ID	valore di misurazione	risultato	valore richiesto
IDE06369	fase U.valore effettivo di corrente	0.03 A	
IDE06370	fase V.valore effettivo di corrente	0.03 A	
IDE06371	fase W.valore effettivo di corrente	0.03 A	
IDE06373	posizione rotore del motore di trazione elettrica	239.64°	
IDE00626	temperatura motore elettrico	23.20 °C	
IDE06368	temperatura dei terminali di potenza	39.30 °C	
IDE00619	regime rotazione motore elettrico	0.00 giri/min	
IDE01025	resistenza di isolamento sistema ibrido	85535 kΩ	

Figura 2: Indicazione dei valori effettivi di motori a campo rotante



Sicurezza



Figura 1: Struttura di una rete IT in veicoli AV

Alto voltaggio (AV). Con questo termine si intendono tensioni in prossimità del veicolo superiori a 25 V in tensione alternata (AC) oppure superiori a 60 V in tensione continua (DC). Queste tensioni si presentano in modo particolare in relazione a veicoli con tecnologia ibrida, oppure in quelli a celle a combustibile, così come nei veicoli elettrici.

Qualifica	Autorizzazione
Persona "profana" di nozioni di elettricità	• Divieto di intervento e di presenza in aree circostanti
Persona istruita in materia di elettricità (liv. 1)	• Tutti i lavori di servizio eseguibili senza disconnessione di tensione • Interventi su sistemi ad alto voltaggio in assenza di tensione • Con la condizione che vi sia disconnessione della tensione e istruzioni da parte di un esperto di lavori su veicoli AV
Persona esperta per interventi su veicoli AV (liv. 2)	• Disconnessione e messa in esercizio di veicoli autosicuri AV • Istruzione di persone profane in materia di elettricità
Persona esperta nelle tecnologie elettroniche dell'automobile (liv. 3)	• Interventi su veicoli AV in sviluppo e in produzione • Interventi in prossimità di contatto fisico di parti sotto tensione • Esecuzione di misurazioni al sistema attivo AV • Allestimento delle certificazioni per esperti di interventi su veicoli AV
Interventi in presenza di AV (liv. qualifica superiore per lavori sotto tensione)	• Interventi su componenti AV connessi a tensione, per esempio apertura della batteria AV



Problematiche

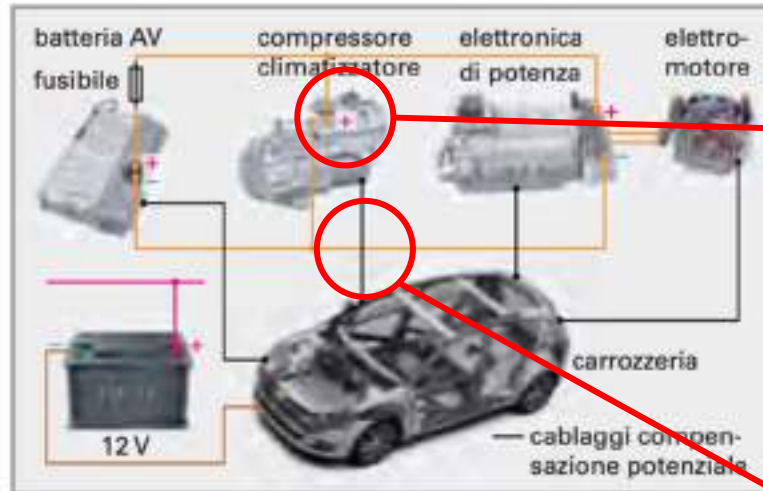


Figura 1: Struttura di una rete IT in veicoli AV

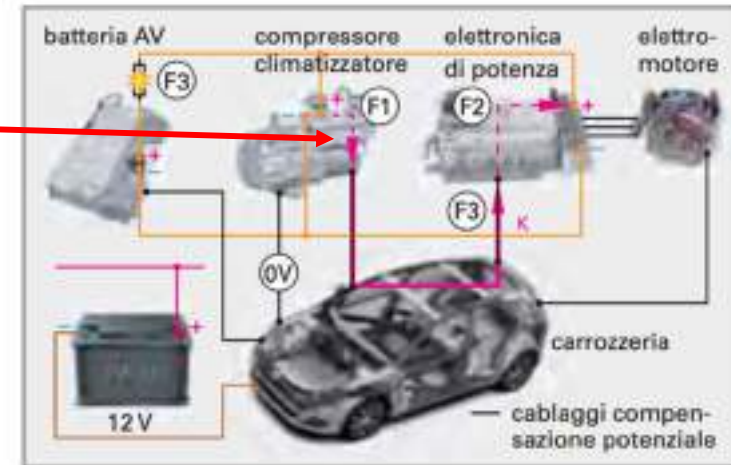


Figura 1: Difetti di isolamento in reti IT



Figura 3: Impianto di misurazione per il controllo della resistenza di isolamento

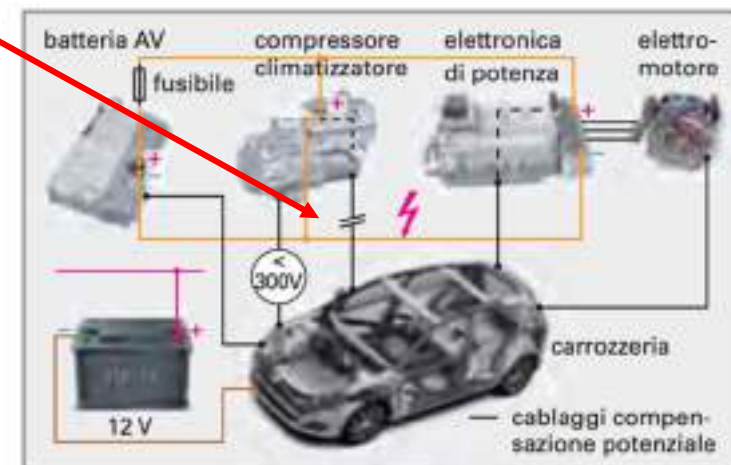
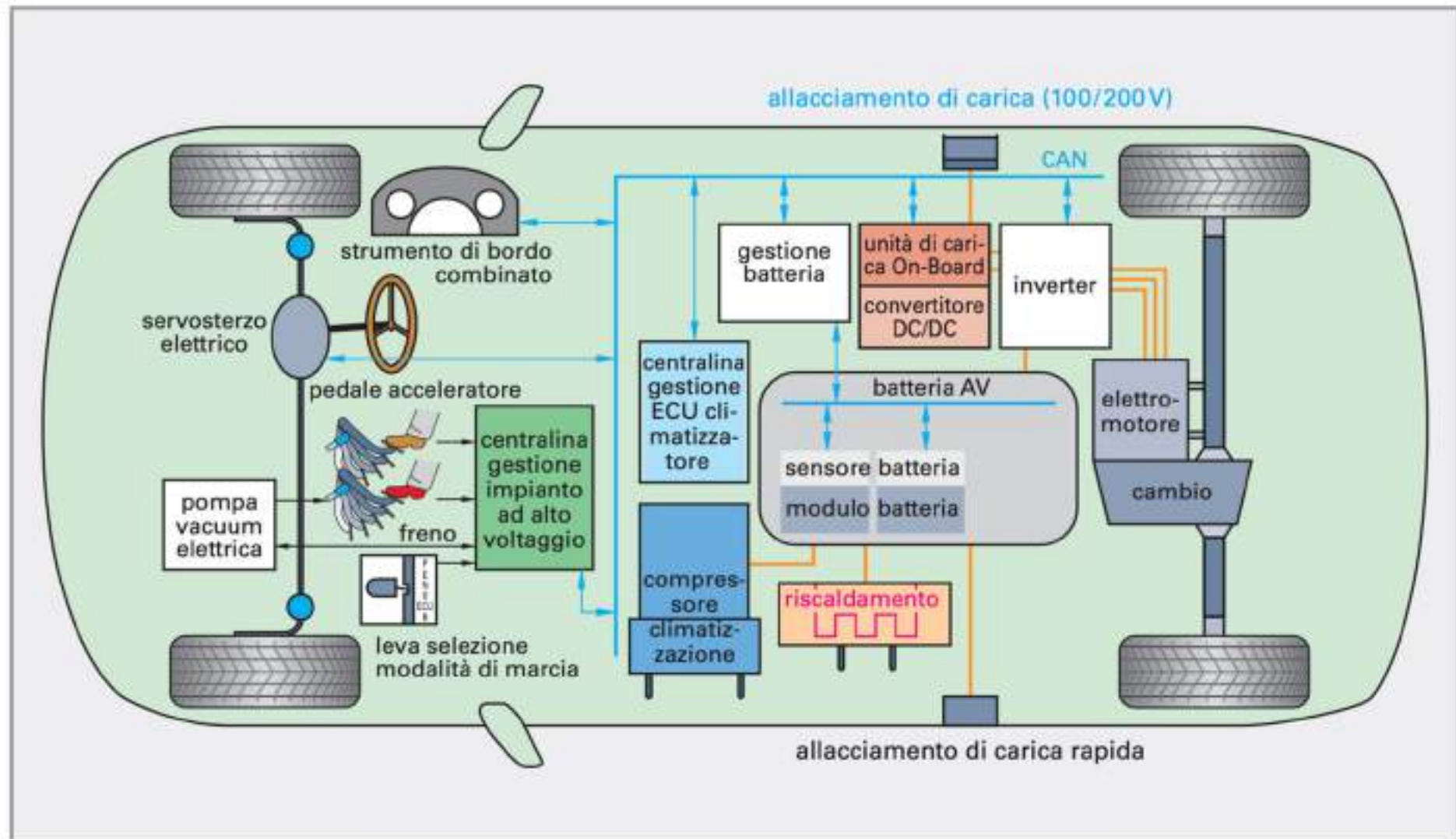


Figura 2: Due difetti di isolamento con cablaggio di compensazione di potenziale difettoso



Veicoli a Batteria





Veicoli a Batteria





Celle a Combustibile

Nella cella a combustibile la produzione di energia elettrica avviene mediante l'apporto di idrogeno. L'energia elettrica è immagazzinata nell'accumulatore o messa a disposizione dell'elettromotore.

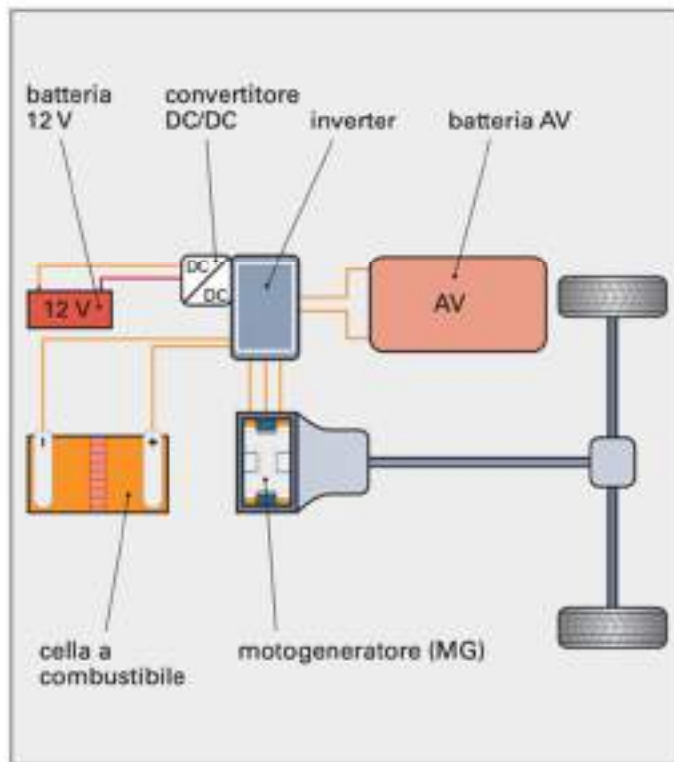


Figura 2: Sistema di trazione

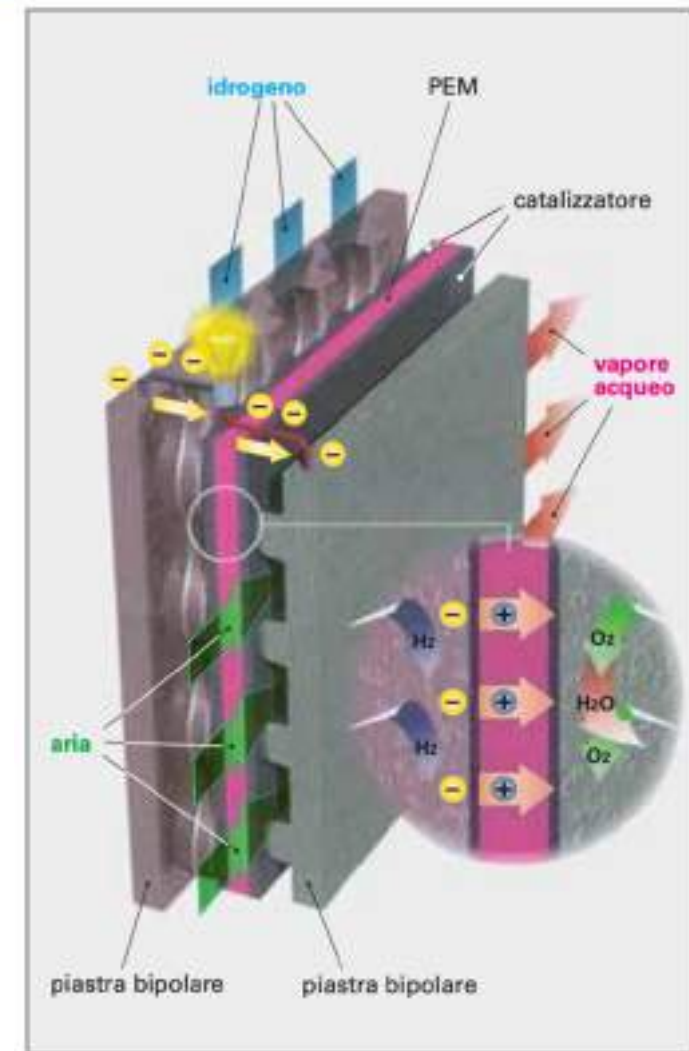
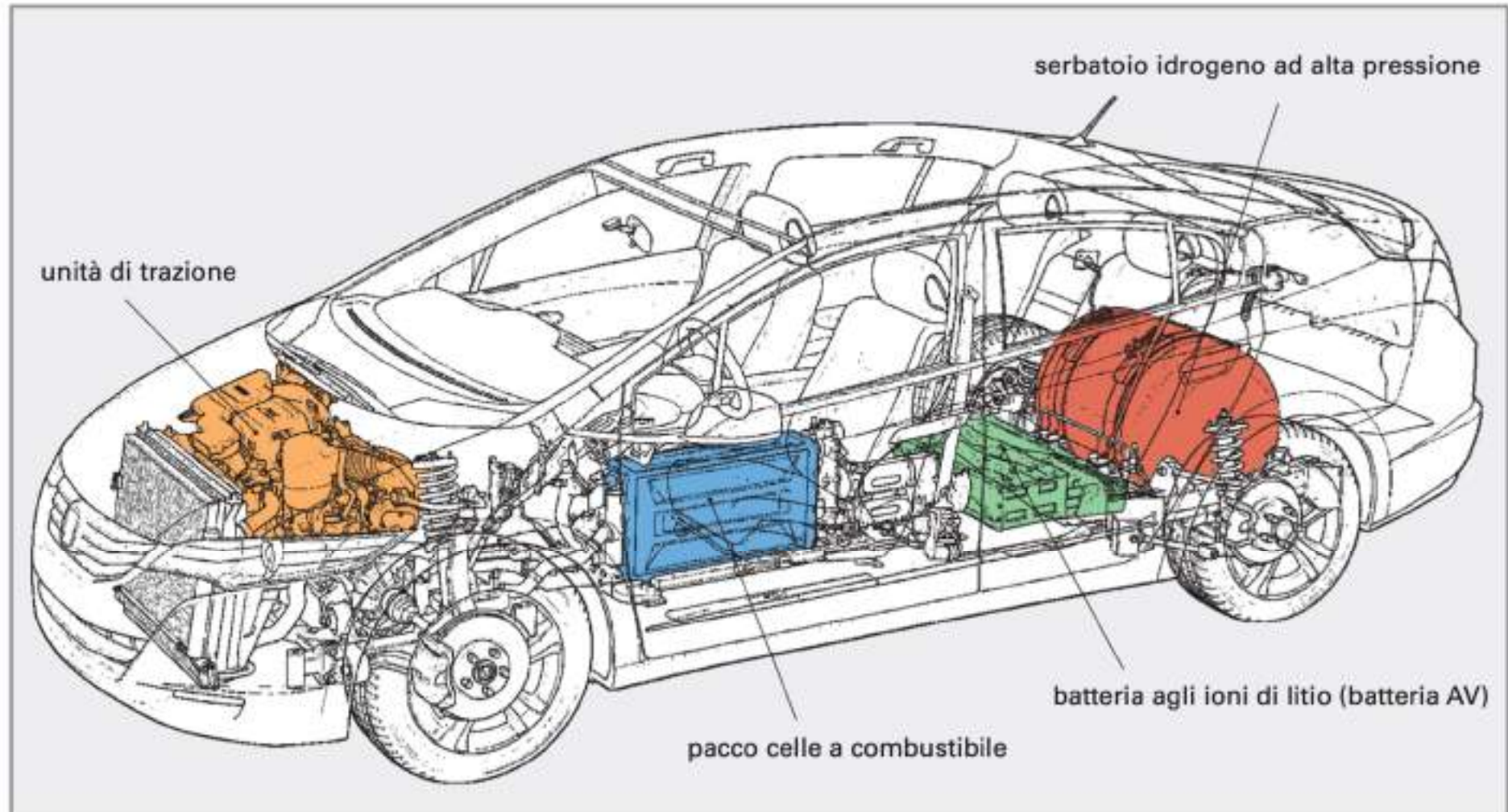


Figura 1: Struttura e funzionamento di una cella a combustibile



Veicoli a Cella a Combustibile





Ibrido F1





Power Unit





MGU-H





MGU-K





Sistema Toyota Hybrid

<https://www.youtube.com/watch?v=jNuixuVhc5E>