

15 Sistemi di trazione alternativi

Si definiscono a trazione alternativa i sistemi che:

- permettono l'utilizzo di carburanti alternativi, per esempio biodiesel (olio di colza), gas metano o idrogeno, nei comuni motori a combustione interna (motori termici);
- prevedono sistemi di trazione alternativi, per esempio, celle a combustibile.

15.1 Fonti di energia alternative

I sistemi di trazione alternativi hanno l'obiettivo di contenere e diminuire il consumo di energia fossile e di ridurre le emissioni nocive e acustiche.

Sono costituiti da fonti di energia non rinnovabili e/o da fonti di energia rinnovabili (fig. 1).

Accanto ai carburanti prodotti da fonti energetiche non rinnovabili, come benzina e diesel, possono essere utilizzati i seguenti carburanti da energie alternative:

- gas naturale (gas metano);
- metanolo;
- energia elettrica;
- idrogeno;
- carburante da biomassa.

Il metano può servire, inoltre, per la produzione di carburanti diesel sintetici. Questi carburanti contengono una minor quantità di azoto e parti aromatiche. Impiegando tali carburanti, la qualità dei gas di scarico dei motori diesel migliora in quanto diminuiscono sia la massa di particolato, sia l'emissione di NO_x .

15.2 Trazione a gas metano

Il gas naturale è una fonte di energia di origine fossile. Si parla generalmente di gas metano perché è

costituito in larghissima parte (80-99%, a seconda dell'origine di estrazione) da metano (CH_4). La parte rimanente è costituita da anidride carbonica, azoto e una minima parte di idrocarburi.

Il gas metano può essere immagazzinato nel veicolo sia in forma liquida a -162°C come LNG (Liquified Natural Gas), sia in forma gassosa con una pressione fino a 200 bar come CNG (Compressed Natural Gas). A causa della grande difficoltà di stoccaggio in forma liquida, il metano è di regola immagazzinato in forma gassosa.

L'elevata resistenza al battito in testa del metano (circa 140 RON = numero di ottani) permette rapporti di compressione di circa 13:1.

Questo vantaggio non può essere sfruttato per sistemi di trazione bivalenti (bi-fuel), ossia funzionanti a benzina e a metano, in quanto il rapporto di compressione è comunque limitato dall'utilizzo in modalità a benzina.

I vantaggi della trazione a metano rispetto alla trazione a benzina e diesel sono i seguenti:

- ottime proprietà di combustione e minori emissioni di CO_2 , NO_x , CO;
- minor imbrattamento delle candele e ridotto inquinamento dell'olio motore.

Gli svantaggi della trazione a metano rispetto a quella a benzina e diesel sono i seguenti:

- il rapporto stechiometrico di 17,2:1 provoca una minor densità del carburante e, di conseguenza, una minore potenza del motore;
- immagazzinare il metano è una tecnica complicata;
- minor autonomia a parità di capacità del serbatoio;
- norme di sicurezza più esigenti, concernenti esercizio, manutenzione e riparazione di veicoli a metano.

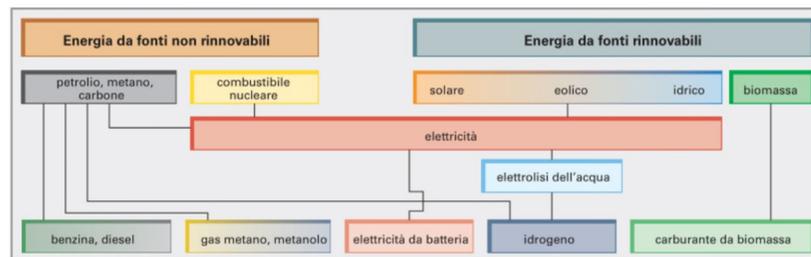


Figura 1: Energie per la trazione di autoveicoli

Struttura. Nei motori a ciclo Otto, la propulsione a metano è generalmente adottata in combinazione con i sistemi di propulsione a benzina (detti sistemi bivalenti). Per questo motivo, è necessario equipaggiare il veicolo con diverse componenti supplementari (fig. 1).

Funzionamento. Il metano, immagazzinato a una pressione di circa 200 bar nell'apposito serbatoio, giunge al regolatore di pressione, il quale, in diversi passi di riduzione, regola la pressione a circa 9 bar. Le valvole di immissione del gas nel condotto di aspirazione sono attivate, secondo necessità, mediante un circuito elettrico che ne determina l'apertura. Il metano si mescola con l'aria aspirata e giunge nella camera di combustione come miscela aria-gas.

Misure di sicurezza. Nella trazione a metano esistono pericoli contingenti per l'ambiente, per esempio in seguito alla fuoriuscita incontrollata di gas oppure per il rischio di esplosione a causa di un aumento incontrollato della pressione. Per questo motivo, l'impianto è provvisto delle seguenti misure di sicurezza.

- **Valvole anti-ritorno.** Sono situate sul raccordo di riempimento e sulle valvole di sbarramento del serbatoio e impediscono il defluire del gas dalla valvola del serbatoio.
- **Rivestimento a tenuta stagna.** Riveste le condutture e le componenti posizionate all'interno del veicolo.
- **Giunzioni avvitate.** Sono realizzate con viti a doppio freno di sicurezza.
- **Serbatoio del gas.** I serbatoi sono realizzati in acciaio oppure in CFK (plastica rinforzata con fibre di carbonio). Ogni serbatoio è collegato al veicolo mediante un doppio sistema di fissaggio. La pressione massima garantita si situa tra 400 bar (per l'acciaio) e 500 bar (per il CFK).

- **Fusibile e valvola di sicurezza termica sul serbatoio del gas.** In caso di incendio impediscono un anomalo aumento di pressione e, di conseguenza, l'esplosione del serbatoio.

- **Limitatore di flusso.** Impedisce l'improvviso svuotamento del serbatoio in caso di rottura di una tubazione.

- **Valvole di arresto elettromagnetiche.** Una valvola di arresto, installata sul serbatoio, chiude il flusso di gas nei casi di conversione nella modalità di alimentazione a benzina, mancanza di corrente elettrica, spegnimento del motore oppure incidente. Un'altra valvola di arresto si trova sul regolatore di pressione.

- **Tubazioni flessibili.** Impediscono rotture dovute a vibrazioni sul circuito a bassa pressione, tra il regolatore di pressione e le valvole di immissione.

- **Regolatore di sovrappressione.** È collegato al regolatore di pressione e protegge il circuito a bassa pressione da valori troppo alti.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Dopo l'installazione di un impianto a gas, è necessario sottoporlo a un collaudo da parte di un ente preposto. Le officine possono effettuare il collaudo sistemico qualora abbiano installato loro stessi l'impianto. Un collaudo successivo dell'impianto deve essere eseguito a seguito di eventi particolari che potrebbero condizionare l'integrità dell'impianto stesso, per esempio dopo un incidente, o per il richiamo a un collaudo successivo secondo le normative in vigore. In questi casi, l'impianto è sottoposto a esami visivi e funzionali, oltre che a prove di tenuta stagna.

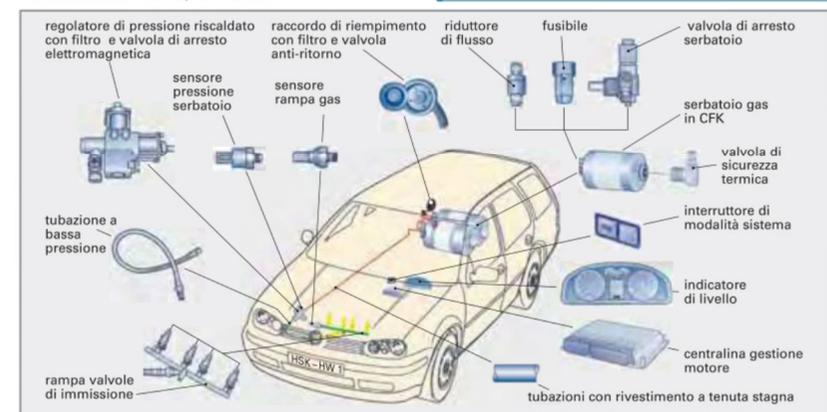


Figura 1: Componenti per la trazione a metano

15.3 Trazione a gas liquido (GPL)

Il gas liquido o GPL (Gas Petrolio Liquido) o LPG (Liquified Petroleum Gas) è una miscela di propano e butano. Autoveicoli a motore a ciclo Otto possono adottare la propulsione a GPL dopo le relative trasformazioni. Analogamente al metano, il gas liquido possiede buone proprietà di combustione e basse emissioni nocive. A suo svantaggio pesa il maggior consumo di carburante di circa il 10-20% in più rispetto all'impiego della benzina.

Struttura. Le trazioni a GPL nei motori a ciclo Otto sono generalmente adottate in combinazione a quelle di motori a benzina (bi-fuel o bivalenti). Per questo motivo nel veicolo devono essere installate componenti supplementari. La trasformazione di motori a ciclo Otto in modalità GPL è, in genere, fattibile.

Funzionamento. Il GPL immagazzinato sotto pressione nell'apposito serbatoio raggiunge il distributore quantitativo del gas passando attraverso un evaporatore (fig. 1). Gli ugelli del gas sul collettore di aspirazione si aprono, a seconda della necessità, su comando della centralina di gestione motore (CGM). Il gas si mescola con l'aria aspirata e raggiunge la camera di combustione sotto forma di miscela aria-gas.

Serbatoio del GPL. Il gas liquido è caricato con una pressione di circa 10 bar. Il sensore meccanico del li-

vello di carica taglia il riempimento automaticamente quando è raggiunto l'80%.

Il volume rimanente serve come serbatoio di compensazione per le dilatazioni cubiche del gas, alle variazioni di temperatura. In caso di post-montaggio, il serbatoio è piazzato nel vano della ruota di scorta; nella parte superiore dello stesso, è prevista una valvola di sicurezza che si apre a circa 30 bar.

Centralina gestione gas (CGG). Elabora le seguenti informazioni:

- temperatura evaporatore e regolatore di pressione;
- pressione nel collettore di aspirazione e pressione del gas;
- tempo di iniezione degli iniettori benzina;
- segnale sonda λ ;
- regime di rotazione (giri motore);
- interruttore modalità benzina o gas;
- indicatore livello serbatoio.

La centralina di gestione del gas comanda le elettrovalvole in funzione dei segnali ricevuti dai sensori. I dati principali di gestione, predefiniti dalla centralina, corrispondono ai punti e ai tempi per l'iniezione a benzina. Per questo motivo, anche gli iniettori per la benzina, sono pilotati dalla centralina gestione gas (CGG).

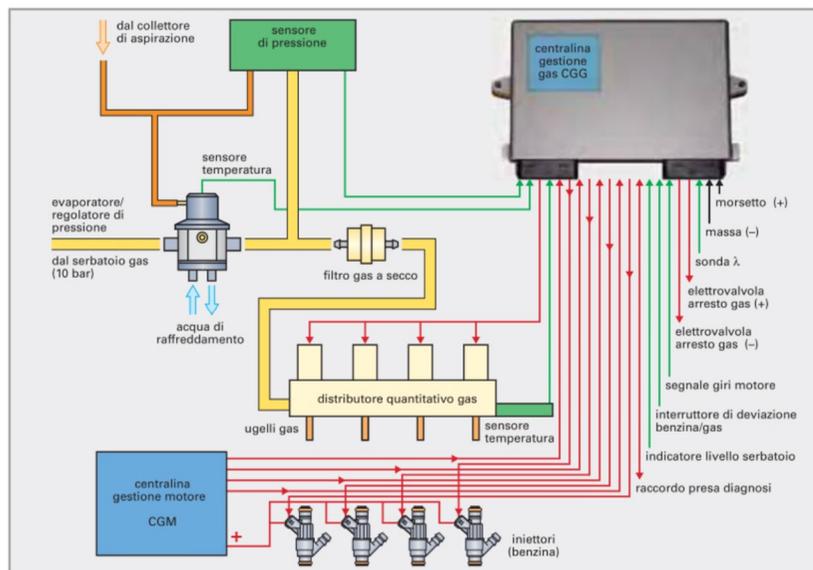


Figura 1: Componenti del sistema di trazione a gas liquido

La CGG calcola, sulla base dei valori dei punti e dei tempi di iniezione definiti dalla CGM, i corrispettivi valori per il comando degli ugelli diffusori del gas.

Sensore di pressione. Trasmette alla CGG la differenza di pressione tra la depressione nel collettore di aspirazione e la pressione del gas. In questo modo, è possibile determinare l'esatto quantitativo di gas da iniettare.

Distributore del gas (fig. 1). Distribuisce il gas sotto pressione alle elettrovalvole.

Queste sono attivate per ogni singolo cilindro dalla centralina di comando del gas. Il gas esce dal distributore attraverso ugelli calibrati, per poi immettersi nel collettore di aspirazione.



Figura 1: Distributore del gas

Evaporatore/regolatore di pressione (fig. 2). Ha il compito di trasformare il gas sotto pressione dallo stato liquido allo stato gassoso. Per impedire la formazione di ghiaccio nell'evaporatore, questo deve essere riscaldato, di solito, per mezzo del calore prodotto dal motore con una condotta collegata al sistema di raffreddamento. In alcuni casi, è adottato un riscaldamento supplementare. Gli ugelli del gas sono alimentati alla pressione costante di circa 1 bar



Figura 2: Evaporatore/regolatore di pressione

attraverso un regolatore di pressione che dispone di un raccordo a depressione sul collettore di aspirazione; in questo modo, la differenza di pressione agli ugelli del gas è mantenuta costante in relazione alla pressione nel collettore di aspirazione.

Filtro del gas a secco. Ripulisce dalle impurità il gas espanso ed è montato tra l'evaporatore/regolatore di pressione e il distributore di gas.

Trasformazione di veicoli a motore GDI. Di principio, i motori a ciclo Otto a iniezione diretta non sono adatti alla trasformazione a GPL. Gli iniettori di benzina mancano, infatti, del raffreddamento necessario all'impiego di gas liquido; un loro utilizzo con gas liquido li danneggerebbe. Sistemi in sperimentazione su motori GDI prevedono un'iniezione sporadica di benzina durante il funzionamento a gas o un'iniezione di gas liquido ai normali iniettori.

Per i sistemi a GPL, in Italia, Germania e Olanda esistono raccordi di riempimento di diverso tipo, motivo per cui, durante i viaggi all'estero, è bene essere equipaggiati con i relativi adattatori.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Effetti sulla meccanica del motore nella trasformazione a GPL

Per la protezione delle sedi delle valvole di scarico, alcuni costruttori prevedono l'utilizzo di un additivo da miscelare al carburante. Nel dubbio, prima della trasformazione, le sedi delle valvole devono essere sostituite con sedi idonee.

Adattamento del sistema di miscelazione

Il post-montaggio di un impianto GPL prevede l'adattamento di un software specifico del costruttore.

Verifica della tenuta stagna (ermeticità)

Dopo l'installazione, l'impianto deve essere controllato mediante un rivelatore di perdite di gas oppure con un sistema di ricerca a liquidi penetranti (spray).

Certificazione dei gas di scarico

Quando un veicolo è trasformato per l'impiego a GPL, per lo specifico modello deve essere allestito un relativo certificato dei gas di scarico. In caso contrario, è necessario il rilascio di un certificato specifico da parte di un perito ufficiale.

Collaudo di un impianto a GPL

Dopo l'installazione dell'impianto, secondo le normative di legge in vigore, è necessario sottoporre l'impianto a un collaudo sistemico da parte di un'officina autorizzata oppure di un ente riconosciuto.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Ulteriori collaudi periodici per gli impianti a gas

Dopo eventi particolari, con il rischio di possibili ripercussioni relative alla sicurezza dell'impianto, è necessario sottoporre nuovamente il sistema a collaudo, secondo le normative di legge in vigore.

Indicazioni relative al montaggio del distributore quantitativo e dei diffusori di gas

- Il distributore deve essere montato il più vicino possibile al collettore di aspirazione in quanto il calore emesso dal motore impedisce la formazione di gelo. Inoltre, al fine di impedire la trasmissione di rumorosità (emissioni acustiche) non deve essere montato su parti di carrozzeria.
- Gli ugelli del gas devono essere montati il più vicino possibile agli iniettori esistenti.
- Gli ugelli devono essere montati in direzione del flusso del gas; l'angolo e la distanza che li separano dalla camera di combustione devono essere i più regolari possibile.

rano dalla camera di combustione devono essere i più regolari possibile.

- I fori per i getti devono essere eseguiti per una filettatura M6.
- Prima di realizzare i fori, bisogna verificare la possibilità di posizionare le relative tubazioni di collegamento.
- I tubi di collegamento con il distributore quantitativo del gas devono essere i più corti possibile ed avere la medesima lunghezza.
- I collettori di aspirazione metallici devono poter essere smontati per rimuovere eventuali trucioli (che se vi finissero dentro potrebbero danneggiare seriamente il motore).
- L'ermeticità dei getti di immissione del gas si realizza con un prodotto antisvitamento di tipo ermetico.

Manutenzione

La cartuccia del filtro a secco è da sostituire dopo una percorrenza di 20.000 km.

15.4 Trazione ibrida

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

Di regola nella propulsione ibrida sono combinati un motore termico e un motore elettrico.

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

Figura 1: Trazioni ibride

Gli autoveicoli che dispongono unicamente di una funzione Start/Stop vengono definiti comunque micro-ibridi, anche se funzionano con una sola fonte di trazione (motore termico).

Per la funzione Start/Stop del motore, la gestione del sistema necessita di diversi parametri, per esempio lo stato della batteria di avviamento, le esigenze del climatizzatore, le temperature del motore, ecc. Questi parametri possono essere determinati in modo differente a seconda del costruttore.

La tab. 1 mostra, con alcuni esempi, le condizioni per la funzione Start/Stop automatica.

Parametri veicolo	Condizioni per Stop automatico
Velocità veicolo	sotto 3 km/h
Velocità veicolo dopo ultimo arresto motore	sopra 5 km/h
Posizione leva cambio	neutro
Posizione pedale frizione	non azionato
Temperatura motore	sopra 35 °C
Giri motore al minimo	sotto 900 giri/min
Filtro carbone attivo	nessun processo di spurgo
Stato batteria	non critico
Differenza di pressione nel servofreno	minore di 500 hPa
Rotazione del volante	non presente
Climatizzatore/riscaldamento	non presente
Temperatura esterna	3-30 °C

Rimessa in moto automatica del motore dopo la fase di arresto

Dopo la fase di arresto, il motore è rimesso in moto automaticamente in presenza delle seguenti condizioni:

- lo stato della batteria raggiunge la zona critica;
- la depressione del servofreno cade sotto un valore inferiore a quello fissato;
- il veicolo si muove (velocità superiore a 5 km/h);
- il sensore del parabrezza rileva un appannamento del medesimo;
- la temperatura dell'evaporatore dell'impianto di climatizzazione supera il valore limite fissato;
- la deviazione tra temperatura reale e quella imposta nell'abitacolo si situa sotto un valore inferiore a quello fissato.

Si è in presenza di uno stato critico quando la potenza della batteria non è più in grado di provvedere alla rimessa in moto del motore.

Per l'avviamento automatico del motore, gli interruttori di contatto del cofano motore e delle cinture di sicurezza devono essere chiusi.

Messa in moto del motore da parte del conducente

Il motore si riavvia nel momento in cui il conducente aziona il pedale della frizione o quando rilascia il pedale del freno (cambio automatico).

Per la rimessa in moto, gli interruttori di contatto del cofano motore e delle cinture di sicurezza devono essere chiusi.

Esclusione dell'arresto automatico del motore

Il sistema Start/Stop automatico viene escluso nel momento in cui si presentano le seguenti condizioni di utilizzo:

- la batteria sta raggiungendo lo stato critico;
- il climatizzatore non ha ancora raggiunto la temperatura desiderata;
- è azionato il tasto AC-max oppure il defroster;
- sono contemporaneamente presenti una ventilazione alta e una temperatura bassa;
- il sensore del parabrezza rileva un appannamento del medesimo.

A seconda del costruttore, possono essere considerati anche altri parametri, come per esempio la posizione del volante di guida in relazione all'angolo di sterzata. In questo modo si vuole impedire che, durante le manovre del veicolo a bassa velocità, il motore si spenga. La funzione Start/Stop è esclusa anche quando è in uso il sistema di parcheggio automatico.

L'arresto del motore è indicato sul display di bordo del veicolo.

Stato della batteria. Con l'ausilio di un sensore di batteria, sono rilevati i seguenti parametri:

- stato di carica;
- temperatura della batteria;
- valore della caduta di tensione della batteria all'ultimo avviamento;
- sfruttamento del generatore.

Con uno stato di batteria regolare, il sistema Start/Stop è in funzione.

Quando lo stato della batteria diviene critico, il sistema Start/Stop è disabilitato.

Recupero in frenata. Mediante il generatore, il veicolo è frenato e la batteria è caricata. Un ISG (Integrated Starter Generator) viene utilizzato anche come generatore durante la fase di frenata.

Alcuni costruttori applicano un generatore montato in modo convenzionale, che lavora unicamente nella fase di frenata e di rilascio e solamente al di sopra di un determinato valore di carica, con il supporto di un regolatore intelligente del generatore (IGR: Intelligent Generator Regulation). Durante le fasi di trazione, il generatore non viene eccitato. In questo modo, nelle fasi di frenata e di rilascio, non è utilizzata né energia né carburante per la produzione di energia elettrica.

L'IGR definisce per la batteria due stati di carica (SOC: State Of Charge).

A seconda dello stato, il processo di regolazione si svolge in modi differenti (tab. 1).

Tabella 1: Processi di regolazione IGR	
Stato batteria	Processo di regolazione
	Sotto lo stato di carica SOC1, la batteria si ricarica sia nella fase di rilascio sia in quella di frenata e anche in quella di trazione.
	Tra gli stati di carica SOC1 e SOC2, nelle fasi di rilascio e di frenata, la batteria si ricarica con una tensione maggiore del generatore. Nella fase di trazione, invece, il generatore produce energia solo per la rete di bordo. La batteria, quindi, non si ricarica.
	Sopra SOC2 la batteria viene caricata durante le fasi di rilascio e di frenata. Nelle fasi di trazione, il generatore viene completamente staccato. La rete di bordo del veicolo prende l'energia elettrica unicamente dalla batteria.
	In caso di aumento del numero di fasi di rilascio, lo stato di carica della batteria può raggiungere il 100%. La batteria stessa non si ricarica in nessuna fase di utilizzo.

Per sopperire ai reiterati cicli di carica e scarica, di regola sono adottate batterie di tipo AGM (Absorbing Glas Mat) oppure con tecnologia a falde filamentose/fibrose. Queste batterie dispongono di una capacità maggiore. Lo stato di carica della batteria è monitorato di continuo mediante un sensore collegato alla centralina di gestione motore e al generatore.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Per il controllo del generatore, deve essere disattivata, mediante l'apparecchio di diagnosi, la regolazione intelligente del generatore (IGR).

Sostegno di coppia motrice. In determinate condizioni d'impiego, per esempio in fase di partenza oppure a pieno carico, la coppia motrice del motore termico può essere sostenuta da motori elettrici. Soprattutto in fase di partenza, gli elettromotori sono molto adatti in quanto a bassi regimi di rotazione dispongono di un'elevata coppia motrice (fig. 1).

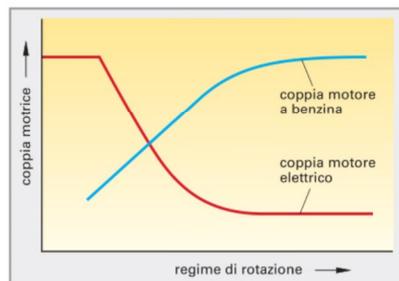


Figura 1: Curve di coppia motore elettrico e a benzina

Per un efficace sostegno di coppia, sono necessari sistemi di accumulazione potenti, per esempio accumulatori all'idruro di nichel oppure agli ioni di litio.

Questi sistemi sono utilizzati con una tensione più alta in modo che l'intensità di corrente e, di conseguenza, le sezioni dei cablaggi vengano ridotte. Con un livello di potenza più elevato, è possibile aumentare la quantità di energia recuperata durante la frenata. I generatori di avviamento integrati sono installati sulla trasmissione. L'ibrido leggero sostiene il motore termico ai bassi regimi di rotazione, mentre l'ibrido medio lavora anche agli alti regimi.

Modalità di marcia elettrica. Nella modalità di marcia a energia elettrica, la trazione è garantita unicamente mediante uno o più motori elettrici.

Questa funzione è possibile solo con sistemi di trazione full-hybrid, fino a una velocità di circa 50 km/h.

15

15.4.3 Trazione ibrida integrale

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.

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.

Per il funzionamento del motore elettrico, l'inverter trasforma la corrente alternata in corrente continua.

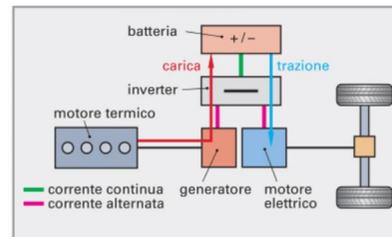


Figura 1: Sistema ibrido in serie (principio)

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

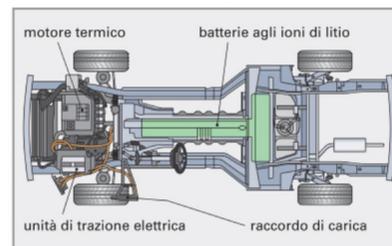


Figura 2: Sistema ibrido in serie

Range Extender. Il Range Extender utilizza un sistema ibrido in serie con un piccolo motore a combustione interna. Esso è collegato a un generatore, che eroga energia elettrica quando la batteria è scarica. Il motore termico serve solo per produrre la corrente per la trazione elettrica (produzione di corrente On-Board). L'elettronica considera in questo contesto anche i dati del navigatore, per esempio destinazione, percorso, altimetrie (salite, discese).

Come motori termici possono essere utilizzati motori a ciclo Otto, Diesel oppure a pistone rotativo. Questi ultimi possiedono il vantaggio di un funzionamento praticamente senza vibrazioni, dimensioni contenute e un peso esiguo. Per i veicoli leggeri, la capacità del serbatoio del carburante è di 10-30 litri.

I veicoli con il Range Extender dispongono fondamentalmente di una batteria provvista di un allacciamento, collegabile alla comune presa elettrica domestica.

I veicoli ibridi, le cui batterie possono essere caricate mediante una presa elettrica, sono definiti come **ibridi plug-in**.

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.

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).

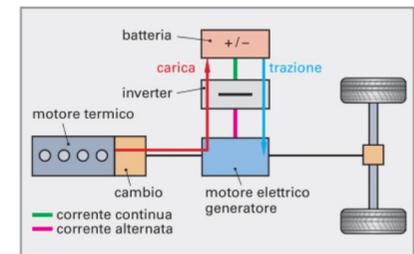


Figura 3: Sistema ibrido in parallelo (principio)

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 possi-

bile 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).



Figura 1: Sistema ibrido in parallelo

L'unità di comando si compone della batteria e dell'unità di potenza (centralina di gestione batteria, trasformatore di tensione e ventilatore).

L'unità di trazione, posizionata nella parte anteriore del veicolo, è alimentata con l'energia elettrica mediante un cablaggio ad alta tensione (fig. 2).

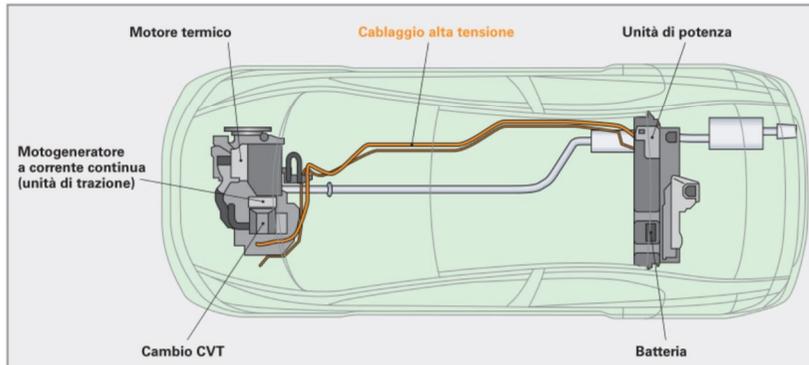


Figura 2: Autoveicolo a trazione ibrida in parallelo

Sistema ibrido a derivazione di potenza (ibrido misto)

Il sistema ibrido a derivazione di potenza (sistema ibrido misto) è una combinazione tra un sistema in parallelo e un sistema in serie. Mediante un deviatore di forze, per esempio un gruppo a ingranaggi epicicloidali, il motore termico è collegato meccanicamente con uno o due motogeneratori (MG1 e MG2, fig. 3). La forza motrice del motore termico è ripartita mediante il gruppo epicicloidale. Una parte della forza di trazione va alle ruote motrici, mentre l'altra va al MG1 ed è usata per la produzione di corrente. Dal momento che le ruote motrici sono collegate con MG2, deve essere azionato anche quest'ultimo perché, in caso contrario, produrrebbe un effetto frenante.

I motogeneratori (o motori elettrici) MG1 e MG2 possono, in determinate situazioni di utilizzo, essere commutati come generatori.

MG2 e il differenziale delle ruote motrici sono collegati mediante una catena oppure per mezzo di ingranaggi.

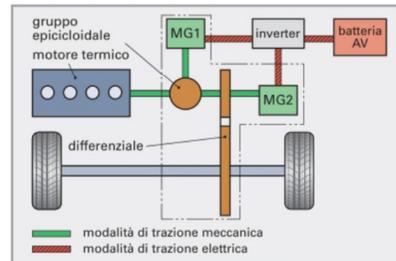


Figura 3: Schema strutturale di trazione ibrida

Struttura dell'unità motrice. È composta dai motogeneratori MG1 e MG2, dal cambio planetario e dal differenziale (fig. 1). Dispone inoltre di un allacciamento all'inverter e alla batteria.



Figura 1: Schema strutturale di unità motrice

L'unità motrice è alimentata dalla batteria con una tensione di 200-300 V.

I motogeneratori sono collegati con l'inverter mediante un cablaggio ad alta tensione.

La batteria ad alto voltaggio (AV) è alloggiata nella parte posteriore del veicolo (fig. 2).



Figura 2: Componenti della trazione ibrida

Funzionamento

Il motore termico e i due motogeneratori MG1 e MG2 sono collegati insieme per mezzo di un cambio epicicloidale.

Gli accoppiamenti del gruppo planetario sono i seguenti (fig. 3):

- MG1 → pignone solare;
- MG2 → corona a dentatura interna;
- motore termico → albero portasatelliti.

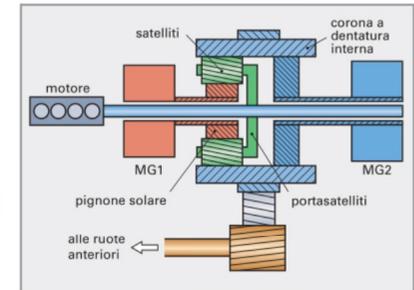


Figura 3: Gruppo di trasmissione planetario

La centralina di gestione riconosce le intenzioni del conducente per mezzo di un sensore sul pedale dell'acceleratore. Inoltre, riceve informazioni relative alla velocità di marcia e al relativo rapporto inserito. Con queste informazioni, gestisce i flussi di energia e le relative forze di trazione.

Fase di partenza (fig. 4). In fase di spunto, la trazione avviene unicamente per mezzo di MG2. Il motore termico è disinserito e MG1 gira in senso contrario senza produrre energia elettrica.

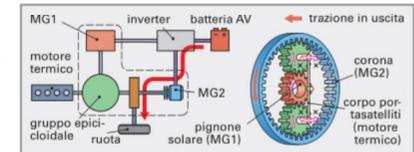


Figura 4: Fase di partenza

Avviamento del motore (fig. 5). Quando, durante la marcia, è richiesto un aumento di coppia motrice, MG1 attiva il motore termico come trazione complementare. Il motore termico è attivato anche quando la centralina di gestione della batteria riconosce uno stato di carica critico oppure una temperatura della stessa inferiore al valore prestabilito.

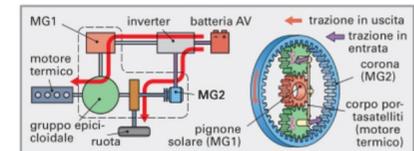


Figura 5: Avviamento del motore Otto

Dopo la messa in moto del motore termico, il medesimo attiva MG1 come generatore. MG1 carica la batteria ad alto voltaggio mediante l'inverter.

Marcia a basso carico (fig. 1). Il gruppo planetario suddivide la forza di trazione del motore termico. Una parte viene rilasciata alle ruote motrici e la rimanente viene utilizzata per la produzione di energia per mezzo di MG1, mentre MG2 può sostenere ulteriormente la trazione.

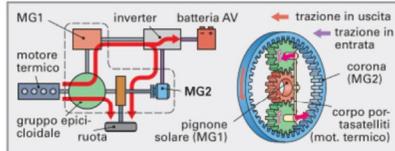


Figura 1: Marcia a basso carico

Accelerazione a pieno gas (fig. 2). Quando il veicolo necessita di un'elevata potenza di trazione, il sistema aumenta la forza di trazione di MG2 con un supplemento di energia elettrica rilasciata dalla batteria AV.

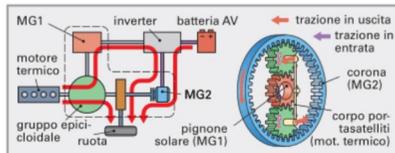


Figura 2: Accelerazione a pieno gas

Rallentamento (fig. 3). Quando il veicolo rallenta e si trova in fase di rilascio, il motore termico si disinserisce. Le ruote motrici agiscono ora su MG2, che lavora come generatore, caricando le batterie AV.

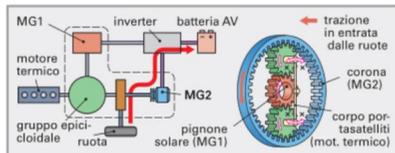


Figura 3: Rallentamento

Tabella 1: Caratteristiche delle batterie

Accumulatori al nichel-idruro di metallo (NiMH)	Accumulatori agli ioni di litio (ioni Li)
<ul style="list-style-type: none"> • Peso elevato • Costi di produzione relativamente bassi • Bassa necessità di gestione batteria, di raffreddamento e di coperture di protezione 	<ul style="list-style-type: none"> • In confronto a NiMH, più alta densità energetica (tensione di cella più elevata) • Alto grado di efficienza • Basso tasso di autscarica • Criticità alle basse temperature, alle situazioni di sovraccarica e di scarico completo, ai danneggiamenti meccanici

Quando il veicolo ad alta velocità decelera, il motore termico mantiene un regime di rotazione prefissato. In questo modo si evitano grandi differenze di rotazione tra gli ingranaggi e, nello stesso tempo, il gruppo planetario è protetto dalle rotture.

Retromarcia. Quando il veicolo è in retromarcia, la trazione è effettuata esclusivamente da parte di MG2.

15.4.4 Accumulazione di energia

Batterie

Per la trazione di veicoli ibridi o elettrici sono attualmente utilizzati, come batterie, accumulatori al nichel-idruro di metallo, oppure accumulatori agli ioni di litio.

Le caratteristiche di questi due sistemi sono descritte in tab. 1.

Accanto alla batteria ad alto voltaggio, il veicolo ibrido è equipaggiato anche di una normale batteria a 12 V per l'alimentazione della rete di bordo.

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.

15

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 ossidossido di nichel (NiO(OH)). Questa piastra è più grande di quella positiva.

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

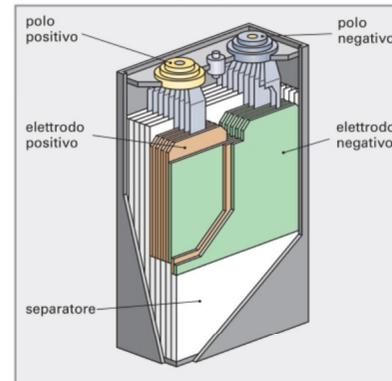


Figura 1: Struttura di una cella NiMH

Struttura del sistema. Un tipico sistema di accumulatore NiMH è costituito da 28 moduli, ognuno a 6 celle di 1,2 V (201,6 V, fig. 2). La potenza elettrica del sistema è di 27 kW. Inoltre, dispone di una centralina di gestione, un radiatore con ventilatore e un sistema di sicurezza con relè.

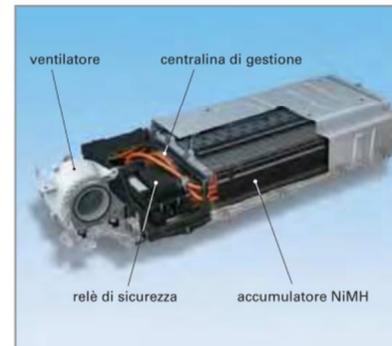


Figura 2: Sistema di accumulatori NiMH

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.

Funzionamento del circuito di sicurezza. Alla messa in moto del veicolo nel sistema di accumulatori, viene attivata una serie di relè (relè 1 - 3), ovvero valvole di sicurezza, per mezzo di una centralina (fig. 3).

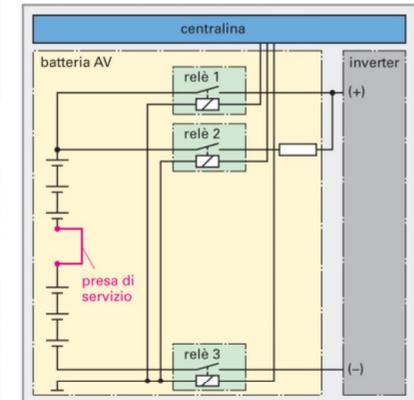


Figura 3: Schema elettrico del circuito di sicurezza

Allo scopo di proteggere l'elettronica di potenza da elevate correnti, sono comandati inizialmente i relè 2 e 3.

In questo modo, la corrente positiva passa attraverso una resistenza addizionale di carica. Solo in seguito è attivato il relè 1 e la corrente passa direttamente all'inverter, cortocircuitando la resistenza. In seguito, è disattivato il relè 2, in modo che l'accumulatore rimanga connesso senza resistenza all'unità di trazione elettrica, ovvero all'inverter.

Alla disconnessione del sistema ibrido oppure in caso di incidente, il collegamento è interrotto sia sulla parte positiva, sia sulla parte negativa mediante la centralina.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Nel sistema di accumulatori, i relè (ovvero le valvole di sicurezza) sono importanti componenti per la sicurezza e, pertanto, non devono essere in alcun modo rimossi dalla scatola dei relè.

Al distacco della presa di servizio, per esempio in occasione di una manutenzione o di una riparazione, il sistema deve essere commutato in assenza di tensione.

Ulteriori raccomandazioni del costruttore, relative alle operazioni in assenza di tensione, sono da osservare scrupolosamente.

Accumulatori agli ioni di litio (ioni Li)

Struttura. L'elettrodo del polo positivo è in alluminio ed è ricoperto da uno strato di ossidi metallici (per esempio cobalto). L'elettrodo del polo negativo è ricoperto da uno strato di grafite. Su questi strati di elettrodi si deposita il litio.

Sull'elettrodo positivo si forma così, per esempio, diossido di litio-cobalto (LiCoO_2) e su quello negativo litio-grafite.

L'elettrolito non contiene acqua ed è costituito, di regola, da carbonati di alcol con esafluorofosfato di litio. Tra gli elettrodi è posizionato un separatore in polimeri oppure in ceramica (fig. 1).

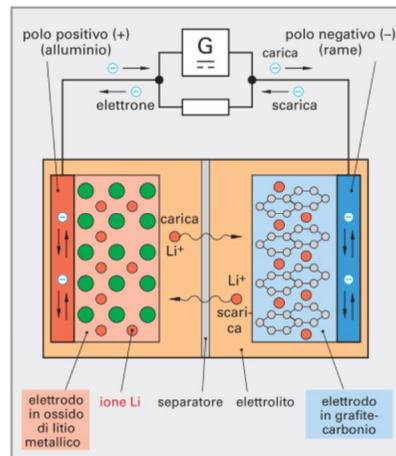


Figura 1: Accumulatore agli ioni di litio

Accumulatore carico

Gli ioni di litio si trovano al polo negativo.

Processo di scarica

Gli atomi di litio producono elettroni i quali si trasferiscono al polo positivo attraverso il circuito utilizzatore.

Gli ioni di litio caricati positivamente si spostano attraverso l'elettrolito verso l'elettrodo positivo e qui si depositano. Gli elettroni sono ripresi per mezzo dei cosiddetti ioni metallici di transizione (passaggio).

Accumulatore scarico

Gli ioni di litio si depositano sul polo positivo. Gli elettroni si legano agli ioni metallici di transizione.

Processo di carica

Gli elettroni si separano dagli ioni metallici di transizione e si muovono attraverso l'elettrolito per raggiungere l'elettrodo negativo. Elettroni e ioni di litio si legano per diventare atomi 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.

In fig. 2 è rappresentata la struttura di un accumulatore agli ioni di litio.

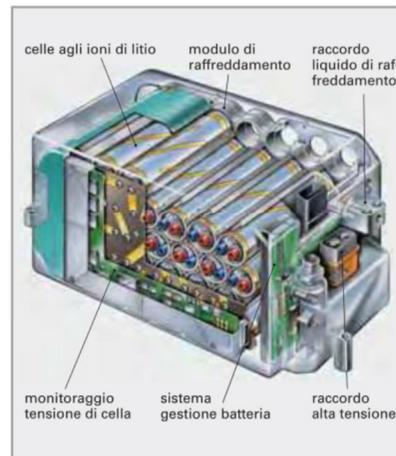


Figura 2: Struttura di un accumulatore agli ioni di litio

15

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.

Accumulatori ai polimeri di litio (accumulatori litio-polimero). Rappresentano uno sviluppo degli accumulatori agli ioni di litio. Come per gli accumulatori agli ioni di litio, l'elettrodo negativo è in grafite, mentre il positivo è in ossido metallico di litio. Tuttavia, gli accumulatori ai polimeri di litio non contengono elettrolito liquido. L'elettrodo è realizzato su base di polimeri ed è presente sotto forma di foglio solido oppure di gel. Tutte le componenti dell'accumulatore (conduttori di corrente, elettrodo negativo, elettrolito, elettrodo positivo) sono prodotti in fogli a forma di lamina di spessore inferiore a 100 μm . La forma degli accumulatori ai polimeri di litio non è soggetta a nessuna limitazione.

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 centralina di gestione della batteria provvede affinché i limiti superiore e inferiore non siano oltrepassati. Questo significa che, in riferimento alle dimensioni, la batteria deve essere sovradimensionata, in modo che i limiti della fascia di lavoro non vengano oltrepassati.

Il limite superiore non deve essere oltrepassato in modo che, per lunghe tratte in discesa, la batteria sia in grado di accumulare ulteriore energia. Nel caso che la batteria rischi una sovraccarica, la gestione disinserisce il processo di carica.

Il limite inferiore non deve essere oltrepassato in modo da garantire un'accelerazione del veicolo mediante la trazione elettrica (boost function).

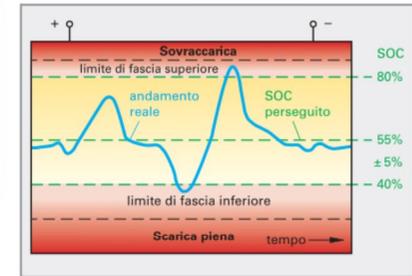


Figura 1: Andamento dello stato di carica

Raffreddamento

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.

Non dovrebbe essere oltrepassata una temperatura d'esercizio compresa tra 45 e 60 °C.

Le batterie possono essere raffreddate, per esempio, con dell'aria proveniente dall'interno dell'abitacolo mediante una canalizzazione collocata sotto il sedile posteriore (fig. 2).



Figura 2: Ventilazione degli accumulatori

Altre possibilità di raffreddamento consistono nel liquido dell'impianto di raffreddamento del motore, oppure mediante l'impianto di climatizzazione.

15.4.5 Elettronica di potenza

L'elettronica di potenza nel veicolo ibrido (fig. 1) ha i seguenti compiti:

- trasformare la tensione continua in tensione alternata (DC → AC) e trasformare la tensione alternata in tensione continua (AC → DC);
- modificare il valore della tensione continua;
- caricare la batteria AV;
- azionare il motogeneratore e il compressore del climatizzatore.

Convertitori AC/DC e DC/AC. I motogeneratori MG1 e MG2 e il motore del compressore del climatizzatore necessitano di corrente alternata. Grazie a un circuito elettronico di potenza, l'inverter è in grado di trasformare la corrente continua in corrente alternata.

Quando MG1 e MG2 lavorano, invece, come generatori, la tensione alternata trifase viene trasformata in tensione continua.

Trasformazione e amplificazione della tensione continua. In un veicolo ibrido, l'impianto elettrico funziona con differenti livelli di tensione:

- tensione rete di bordo, per esempio 12 V;

- tensione batteria ad alto voltaggio e aggregati, per esempio 201,6 V;
- tensione motori di trazione, per esempio 650 V.

Carica batteria ad alto voltaggio. Durante la fase di frenata e quella di rilascio, MG1 e MG2 lavorano come generatori di corrente. Grazie all'inverter, la tensione alternata prodotta dai generatori viene trasformata in tensione continua per poter caricare la batteria ad alto voltaggio.

Motori di trazione MG1 e MG2. La tensione della batteria ad alto voltaggio è amplificata dal trasformatore DC/DC in una tensione più elevata (per esempio da 201,6 fino a 650 V). In seguito, mediante il circuito elettronico di potenza dell'inverter, avviene la trasformazione in corrente alternata per la trazione elettrica di MG1 e MG2.

Struttura e funzionamento dell'elettronica di potenza. L'alimentazione dell'elettronica di potenza avviene per mezzo della batteria ad alto voltaggio, tramite un relè di sicurezza. L'elettronica di potenza dell'inverter amplifica, con l'aiuto del trasformatore di tensione continua (trasformatore DC/DC), la tensione della batteria ad alto voltaggio in tensione d'esercizio per i motogeneratori.

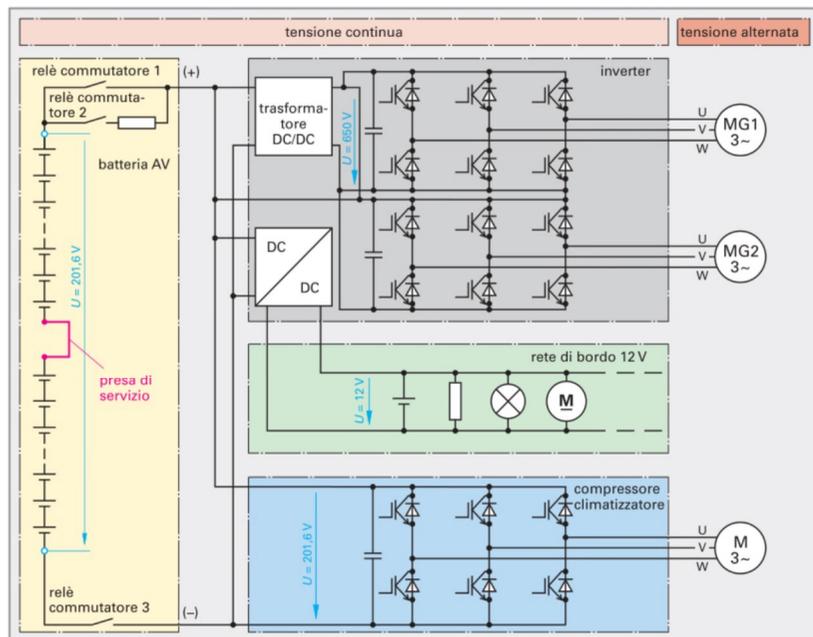


Figura 1: Elettronica di potenza (trazione ibrida a derivazione di potenza)

Per la produzione di corrente alternata per i due motori elettrici MG1 e MG2, è disponibile un circuito di raddrizzamento a 6 transistor.

Comando dei transistor. Avviene mediante un apparecchio a comando integrato, mediante l'utilizzo di transistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

I transistor IGBT sono dei semiconduttori elettronici in cui un transistor a effetto di campo comanda un transistor bipolare.

I transistor IGBT hanno le seguenti proprietà:

- capacità di gestire correnti molto elevate;
- possibilità di essere collegati in parallelo per aumentare il flusso di corrente;
- non vi è dispendio di energia (come i transistor a effetto di campo);
- sono molto sensibili alle tensioni di autoinduzione, per cui sono accoppiati a diodi oscillanti.

Trazione degli aggregati. Alcuni utilizzatori elettrici, per esempio il compressore del climatizzatore, possono essere alimentati ad alta tensione. Questi aggregati dispongono di un'elettronica separata e sono alimentati in corrente alternata a partire dalla tensione della batteria ad alto voltaggio.

Onde evitare dei cortocircuiti interni al compressore del climatizzatore, i costruttori prescrivono un olio specifico con buone caratteristiche isolanti.

L'alimentazione della rete di bordo 12 V avviene per mezzo della batteria ad alto voltaggio e un trasformatore di tensione continua. Per ragioni di sicurezza, la sezione ad alta tensione, ovvero la batteria ad alto voltaggio, è separata galvanicamente dalla rete di bordo mediante un trasformatore di tensione (fig. 1).

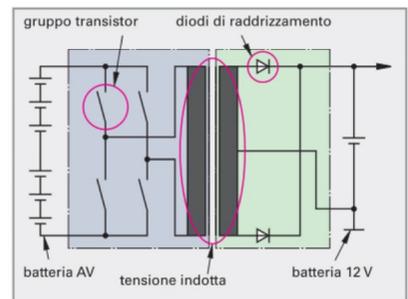


Figura 1: Trasformatore di tensione

La commutazione dei transistor produce una tensione alternata necessaria nella sezione ad alto voltaggio. La tensione alternata indotta sulla sezione a 12 V è raddrizzata in tensione continua e va ad alimentare la batteria di avviamento e la rete di bordo del veicolo.

Raffreddamento. Il calore prodotto dall'elettronica di potenza viene smaltito mediante un circuito di raffreddamento a liquido con pompa d'acqua elettrica. Il raffreddamento dell'elettronica di potenza può essere anche integrato nel circuito di raffreddamento del motore.

15.4.6 Aggregati

Nei veicoli ibridi, gli aggregati possono funzionare per mezzo di motori elettrici, per esempio la pompa di depressione, la pompa del liquido del circuito di raffreddamento, il servosterzo elettrico e il compressore del climatizzatore.

Il funzionamento degli aggregati avviene di regola solo quando è necessario, ovvero a seconda del fabbisogno, in relazione allo stato del regime di rotazione. Queste misure ottimizzano il bilancio energetico del veicolo. Gli aggregati possono essere attivi anche quando il motore è spento, un ulteriore vantaggio del funzionamento elettrico. L'impianto di climatizzazione può essere dotato anche di un comando a distanza che permette la sua attivazione prima della messa in moto del motore. Allo stesso modo, il funzionamento elettrico della pompa d'acqua e del compressore del climatizzatore, il raffreddamento dell'inverter, così come il raffreddamento dell'abitacolo, possono essere mantenuti attivi anche dopo l'arresto del motore. In molti casi, gli aggregati sono inseriti nel circuito elettrico ad alto voltaggio. La funzione del climatizzatore può essere sostenuta anche da un tetto scorrevole ad energia solare che, a veicolo fermo, permette una ventilazione dell'abitacolo a corrente elettrica prodotta dall'energia solare.

15.4.7 Trazioni ibride plug-in

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.

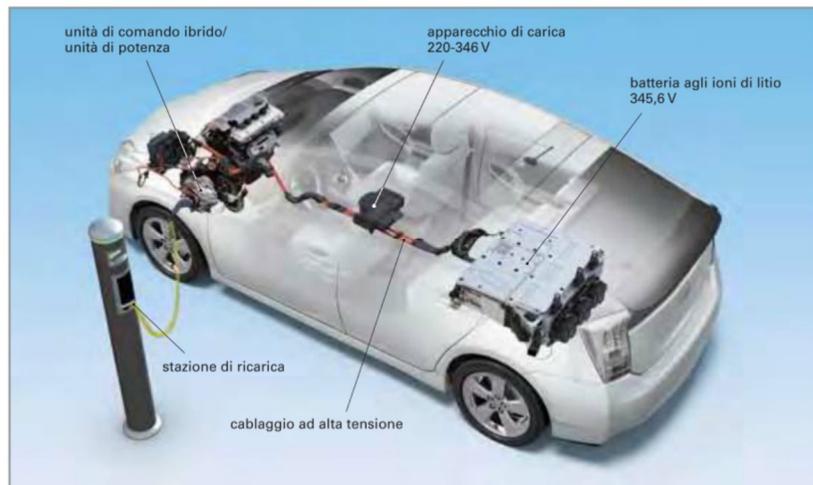


Figura 1: Componenti di un plug-in ibrido

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.

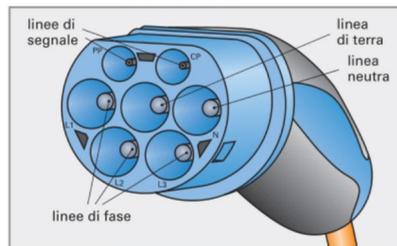


Figura 2: Presa di carica

Inoltre, la presa di ricarica contiene anche l'interfaccia di comunicazione tra la stazione di carica e il veicolo. Il connettore di ricarica è provvisto di diverse misure di sicurezza.

- **Attivazione dell'immobilizzatore.** Un circuito di corrente indipendente verifica che la presa sia connessa. Uno strappo inavvertito del cavo di carica è escluso.
- **Protezione elettrica.** Un secondo circuito elettrico verifica che la presa sia completamente inserita

nella sua sede di attacco. Solamente a questo punto, la corrente di carica viene attivata.

- **Sicurezza di sovraccarica.** Resistenze elettriche nella presa codificano il campo di azione autorizzato del cavo di carica.
- **Protezione dei componenti.** Il veicolo riceve informazioni su quale intensità di corrente è disponibile alla stazione di carica, per quale corrente massima è predisposto il cavo, se la connessione e il raccordo della linea di protezione sono realizzati correttamente e se il dispositivo di carica è piombato.

Il connettore è predisposto anche per una protezione dai cortocircuiti.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Di quali funzioni dispone un full-hybrid?
- 2 Descrivete la funzione Start/Stop.
- 3 Come avviene la trazione in un sistema ibrido in serie?
- 4 Quali trazioni sono accoppiate in un sistema ibrido a derivazione di potenza?
- 5 Quali caratteristiche possiede l'accumulatore agli ioni di litio?
- 6 Per quale ragione gli accumulatori agli ioni di litio sono montati nel veicolo in un involucro di protezione?
- 7 Descrivete il concetto boost function.
- 8 Cosa si intende con il concetto "trazioni ibride plug-in"?

15.4.8 Motori a trazione elettrica

Le macchine trifase sono convertitori elettromeccanici che possono essere utilizzati come motori elettrici o come alternatori. Nel funzionamento come motore, la corrente trifase genera un campo magnetico rotante. Nel funzionamento come alternatore, invece, a essere generata è la corrente trifase.

Struttura (esempio di trazione ibrida, fig. 1). La macchina elettrica (motore a campo rotante) per la trazione di veicoli a motore, in genere, si compone di:

- un involucro con avvolgimenti fissi (statore);
- un elemento rotante (rotore);
- un raccordo di potenza;
- supporti principali (cuscinetti) di portata.

Inoltre, possono essere montati anche sensori di posizione del rotore e sensori di temperatura.



Figura 1: Struttura di un'unità di trazione

I vantaggi dei motori elettrici, rispetto ai motori termici, sono i seguenti:

- rendimento globale di circa l'80-90% (motore a benzina circa 33%, motore diesel circa 45%);
- elevata coppia allo spunto;
- maggior campo di utilizzo per impiego di cambi a meno rapporti;
- miglior rendimento meccanico (minor attrito e minor produzione di calore);
- possibilità di utilizzo come generatore perché l'energia cinetica può essere trasformata in energia elettrica.

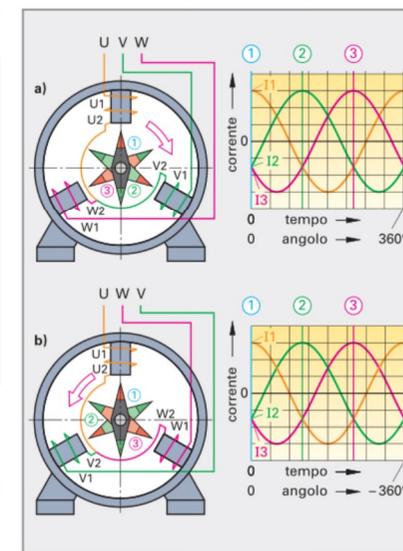
Funzionamento

Le macchine a campo rotante funzionano a corrente alternata trifase.

Corrente alternata trifase. Per generare un campo magnetico rotante sono necessarie tre bobine sfasate di 120° rispetto al proprio asse.

Le tre bobine sono normalmente disposte in corrispondenza dello statore del motore trifase. Queste tre bobine sono alimentate con tre tensioni alternate con sfasamento di 120° . Le bobine sono collegate mediante un circuito a stella o un circuito a triangolo. Anche se è indifferente il tipo di collegamento utilizzato, è importante che nei tre avvolgimenti il flusso di corrente risulti sfasato rispettivamente di 120° . Il campo rotante consente di ottenere motori trifase strutturalmente semplici.

Il senso di rotazione del campo magnetico dipende dalla disposizione delle bobine sullo statore (figg. 2a e 2b).

Figura 2a: Campo di rotazione in senso orario (destra)
Figura 2b: Campo di rotazione in senso antiorario (sinistra)

Se si posiziona un magnete rotante (rotore) al centro di un campo magnetico, il campo rotante attiva il movimento di rotazione del magnete.

Il regime di rotazione dipende dalla frequenza della corrente alternata trifase, dal numero degli avvolgimenti dello statore e dalle coppie di poli del rotore.

Esempio. Alla frequenza di 50 Hz e per tre bobine, il campo magnetico gira 50 volte al secondo (circa 3000 volte al minuto).

Tipi di motore a campo rotante

Si distinguono motori a campo rotante asincroni e sincroni. Si differenziano principalmente nella configurazione del rotore.

Motori asincroni

Struttura del rotore (fig. 1). Per le macchine di veicoli a motore asincroni, sono adottati per lo più rotori a cortocircuito. Il rotore è costituito da una gabbia metallica formata da segmenti di conduttore e di anelli di cortocircuito saldati all'albero del rotore.

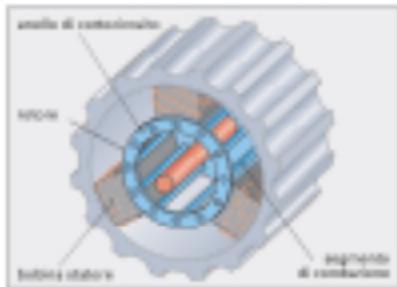


Figura 1: Struttura di una macchina asincrona con rotore a cortocircuito

Funzionamento. Il motore asincrono, considerato dal punto di vista elettrico, è un induttore. Gli avvolgimenti della stator corrispondono agli avvolgimenti primari, quelli del rotore a quelli secondari. All'avviamento del motore, il campo rotante prodotto dalla corrente alternata origina un cambiamento di flusso magnetico nei segmenti di conduttore della girante. In questo modo, viene indotta una tensione e, attraverso gli anelli di cortocircuito, scatta una corrente che, a sua volta, origina un campo magnetico attorno alla girante. Questo campo magnetico produce, assieme al campo rotante della stator, un momento di coppia che fa ruotare il rotore nel senso di rotazione del campo rotante.

Per produrre, da parte del rotore, un campo magnetico sufficientemente potente, il campo rotante deve ruotare con un numero di giri superiore a quello del rotore stesso, cioè in modo asincrono. Questa tipologia di motore a corrente alternata è, perciò, definita come macchina asincrona (motore asincrono).

La differenza di giri tra campo rotante e rotore viene definita come "scorrimento".

La coppia del motore asincrono dipende dall'intensità di corrente allo stator e dallo scorrimento.

La sincronizzazione deve essere tenuta in considerazione per l'avviamento di un motore asincrono: la frequenza trifase della corrente alternata deve, quindi, essere calcolata in relazione ad esso.

Motori sincroni

Struttura del rotore. Per le macchine a motore sincrono sono adottati per lo più rotori 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 interna del rotore, sono fissati dei magneti permanenti.



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

Rotore esterno (fig. 2b). Gli avvolgimenti dello stator sono disposti all'interno del rotore. Per la produzione del campo magnetico da parte del rotore, sulla fascia perimetrale interna dello stesso sono fissati dei magneti permanenti.



Figura 2b: Struttura di un motore sincrono a rotore esterno

Funzionamento. I magneti permanenti producono campi magnetici attorno al rotore. Quando negli avvolgimenti dello stator è originato un campo rotante mediante la corrente alternata trifase, i poli omologhi del rotore (NN) e degli avvolgimenti dello stator si respingono, mentre i poli di segno opposto (NS) si attirano. In questo modo, è originato un momento di coppia e il rotore si mette in rotazione seguendo il campo rotante (fig. 2, pag. 385).

Il regime di rotazione del campo rotante e del rotore sono uguali; questa tipologia di costruzione di macchina a corrente alternata, pertanto, è definita macchina sincrona (motore sincrono). Il momento di coppia prodotto da motori sincroni ad eccitazione permanente dipende dall'intensità di corrente dello stator.

Vantaggi e svantaggi dei motori sincroni rispetto ai motori asincroni

- **Rendimento più elevato.**
- **Nessun fenomeno di "scorrimento".** Il regime di rotazione del rotore dipende direttamente dalla frequenza della corrente alternata trifase.
- **Minor riscaldamento.** A motore spento, nella girante non viene indotta alcuna alta tensione da parte del campo rotante, non essendo presente una forte corrente che potrebbe surriscaldare il rotore (come avviene nel motore asincrono).
- **Utilizzo di materie rare.** Per la produzione dei magneti ad eccitazione permanente di motori sincroni è necessario l'utilizzo di "terre rare" (neodimio, disprosio).

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

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).

Pericoli per la salute. I motori a campo rotante producono campi elettromagnetici che potrebbero disturbare il funzionamento di determinati apparecchi medici quali pacemaker, pompe di insulina o pompe di infusione. Per questo motivo, alle persone che portano questi tipi di dispositivi è vietato sostare nelle officine e in vicinanza di veicoli dotati di trazione elettrica (fig. 1).



Figura 1: Segnale di divieto per persone munite di apparecchi medici di sostegno alla salute

Indicazioni circa la sopportabilità elettromagnetica. I campi elettromagnetici possono portare disturbi ad altri sistemi presenti sul veicolo (per

esempio, radio, telefono), motivo per il quale è necessario intervenire con misure di schermatura aggiuntive, installando cablaggi di massa ed elementi antidi disturbo. Questo fattore è da tenere in considerazione quando il veicolo ha necessità di essere riparato.

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.

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°	
IDE06026	temperatura motore elettrico	23,20 °C	
IDE06368	temperatura dei terminali di potenza	39,30 °C	
IDE06019	regime rotazione motore elettrico	0,00 giri/min	
IDE01025	resistenza di isolamento sistema ibrido	65635 kΩ	

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

15.4.9 Sicurezza nei veicoli ad alto voltaggio

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

La **tab. 1** indica i gradi di qualifica secondo le normative delle competenti organizzazioni professionali. In sostanza, indica quali interventi (e da quale personale in possesso di relative qualifiche) possono essere eseguiti.

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

Veicoli autosicuri AV. Per questi veicoli, mediante predisposizioni tecniche, è garantita una completa protezione dal contatto fisico e di elettrocuzione da arco voltaico.

Nei veicoli autosicuri AV, a protezione dei contatti fisici, il sistema AV è realizzato con il sistema di rete denominato Isolated Terra* (IT).

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.

Rete Isolated Terra (IT). Questo sistema prevede che sia il polo positivo sia quello negativo siano isolati rispetto alla carrozzeria, contrariamente a quanto avviene per la rete 12 V.

Struttura della rete IT (fig. 1). Le reti IT nei veicoli a motore in genere sono per lo più costituite da:

- batteria ad alto voltaggio (AV);
- macchina (motore) a campi rotanti;
- compressore del climatizzatore elettrico;
- cablaggi AV schermati;
- cablaggi di compensazione di potenziale.

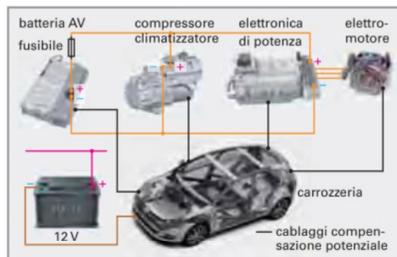


Figura 1: Struttura di una rete IT in veicoli AV

Tabella 1: Qualifiche per interventi sui veicoli in AV

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

* = Isolated (inglese, isolato); Terra (termine dell'elettrotecnica che indica la "messa a terra", dal latino terra).

Difetti di isolamento

Cortocircuito fra positivo e corpo del componente o schermatura del cablaggio (fig. 1, F1). In questo caso, il potenziale positivo scorre sul corpo del componente. Mediante i cablaggi di compensazione di potenziale, questo viene riportato alla carrozzeria e agli altri corpi di componenti meccaniche. Il potenziale positivo può essere toccato, il pericolo di una scossa non sussiste in quanto il polo negativo, per chiudere il circuito elettrico, è isolato.

Cortocircuito fra negativo e corpo del componente o schermatura del cablaggio (fig. 1, F2). Questo difetto produce il medesimo risultato di F1, tuttavia è relativo al potenziale negativo. Anche in questo caso non c'è pericolo di elettrocuzione in quanto il potenziale positivo rimane isolato.

Cortocircuito del positivo e del negativo verso componenti differenti (fig. 1, F3). Nel caso che i difetti F1 e F2 avvengano contemporaneamente su due corpi di componenti meccaniche diverse, il potenziale positivo e quello negativo vengono messi in cortocircuito dal cablaggio di compensazione di potenziale. La valvola di sicurezza salta, il sistema si disinserisce e, di conseguenza, il pericolo di elettrocuzione non sussiste.

Cortocircuito positivo e negativo rispetto a componenti meccaniche in presenza di un cablaggio di compensazione interrotto (fig. 2). Quando, oltre ai cortocircuiti, uno dei cablaggi di compensazione di potenziale è difettoso, si è in presenza di potenziali di tensione differenti tra un corpo delle componenti

meccaniche e la carrozzeria. In questo caso esiste il serio pericolo di elettrocuzione.

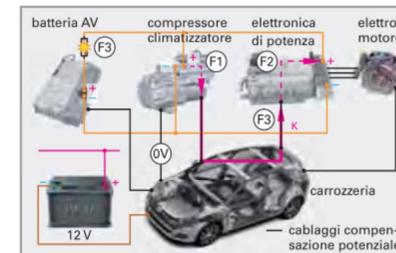


Figura 1: Difetti di isolamento in reti IT



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

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Diagnosi per difetti di isolamento. L'isolamento dei cablaggi e delle componenti meccaniche è monitorato da una centralina posta nel sistema AV (per lo più in quella di gestione della batteria). In presenza di un difetto di isolamento, al conducente compare un avviso di allarme sulla strumentazione del quadro e il difetto è riportato nella memoria della centralina. Il veicolo resta comunque in condizioni di muoversi. In presenza di più di un difetto di isolamento, il sistema AV si disconnette e il veicolo non è più in grado di muoversi.

Per circoscrivere la causa del difetto, è necessario misurare la resistenza di isolamento delle componenti meccaniche. In relazione ai valori richiesti si consulti i dati del costruttore.

Per poter determinare anche i difetti di isolamento più piccoli, per la misurazione della resistenza di isolamento, è necessario utilizzare apparecchi di misurazione specifici che possono essere regolati fino a una tensione di misurazione di

1000 V. A causa dell'elevata tensione di misurazione, esiste un potenziale rischio che, tuttavia, rimane basso in relazione alla piccola quantità di energia presente. Il controllo dei difetti di isolamento può essere eseguito solo da personale esperto in interventi su veicoli AV con l'ausilio di adattatori di misurazione omologati (fig. 3).



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

Misurazione della resistenza di isolamento

Prima di procedere alla misurazione della resistenza di isolamento, il sistema AV deve essere commutato in modalità assenza di tensione e messo in sicurezza da possibili riconessioni.

Esempio: sequenza di operazioni per la misurazione della resistenza di isolamento

Verifica dell'adattatore di misurazione. Per garantire la sicurezza, prima della misurazione, si deve controllare l'isolamento e la resistenza di controllo nell'adattatore secondo i valori del costruttore.

Disconnettere i cablaggi AV dalla batteria. La batteria è disconnessa dal sistema AV e, pertanto, non influisce nell'operazione di controllo dell'isolamento.

Collegamento dell'adattatore al cablaggio positivo AV (fig. 1, punto 1). La misurazione iniziale della resistenza di isolamento si effettua sul lato positivo del sistema ad alto voltaggio. Prestare attenzione che l'adattatore sia inserito a fondo nella relativa presa di attacco.

Collegamento dell'apparecchio di misurazione di isolamento ed esecuzione della misurazione. Per la misurazione, è necessario impostare sull'apparecchio l'esatto valore di tensione di misurazione (fino a 1000 V) secondo le indicazioni del costruttore. I cablaggi AV e le componenti meccaniche AV agiscono in questa misurazione come resistenze capacitive. Ciò significa che, fino alla carica completa del sistema, scorre una corrente di misurazione più alta. Per questo motivo è necessario che venga osservato un certo tempo di misurazione dato dal costruttore (per lo più 5 s) e, di seguito, procedere alla lettura dei valori rilevati.

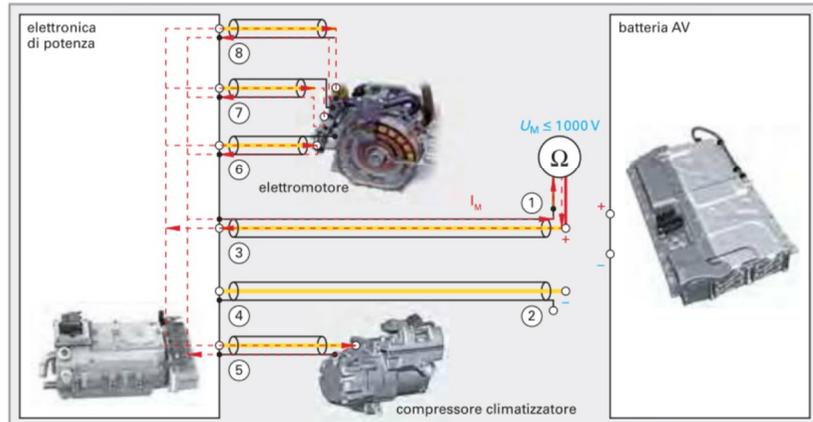


Figura 1: Misurazione della resistenza di isolamento

Valutazione dei risultati della misurazione. Occorre raggiungere il valore minimo di resistenza di isolamento prescritto dal costruttore (per esempio 5 MΩ).

Diagnosi di errore. Nel caso che il valore minimo non sia raggiunto, la ricerca per circoscrivere l'errore prosegue tramite altre misurazioni su ulteriori componenti del sistema AV, sempre secondo prescrizioni del costruttore (fig. 1, punto 2-5). Con una procedura ad eliminazione, la componente difettosa viene individuata.

Misurazione sul lato negativo del sistema AV. Per questa misurazione l'adattatore è allacciato al cablaggio negativo del sistema AV e la misurazione è ripetuta.

Riparazioni in caso di difetti di isolamento. La riparazione di componenti AV o di cablaggi AV danneggiati non è possibile; queste parti devono essere sostituite.

Verifica dei cablaggi di compensazione di potenziale. Prima della messa in esercizio di veicoli AV, si devono mettere in sicurezza i cablaggi di compensazione di potenziale. Per questa operazione è necessario attenersi alle prescrizioni del costruttore.

Procedura:

- controllo visivo di eventuali danneggiamenti al cablaggio e agli attacchi di collegamento;
- controllo visivo di eventuale corrosione alle viti di fissaggio;
- verifica della coppia di fissaggio;
- misurazione della resistenza intermedia.

Per determinare la resistenza intermedia, si misura la caduta di tensione ai cablaggi di compensazione di potenziale e alle viti di fissaggio sulla carrozzeria. Pertanto, nei cablaggi deve scorrere una corrente

15

più alta. Per questa misurazione, devono essere utilizzati strumenti specifici di resistenza a 4 vie.

I cablaggi AV sono contrassegnati con il colore arancione fluorescente e, di conseguenza, sono individuabili in modo univoco.

Cablaggi AV. Al loro interno contengono una schermatura metallica in modo da scaricare il potenziale di tensione in caso di difetti di isolamento. Le prese di connessione sono contrassegnate sul corpo metallico mediante una codifica colorata (fig. 1) in modo da impedire scambi di connessione. Le prese delle componenti meccaniche sono provviste di un coperchio di plastica per impedire il contatto fisico.



Figura 1: Presa di connessione e raccordo attacco componente

Con l'ausilio di un percorso di sicurezza (linea pilota) viene rilevato il distacco di una delle prese di cablaggio, della presa di servizio/manutenzione, oppure della presa di sicurezza. In seguito il sistema AV viene disinserito.

Percorso di sicurezza (fig. 2). Si tratta di una linea che corre lungo tutte le componenti AV. Una centralina delle componenti AV imposta una tensione (generalmente 12 V). Un'altra centralina (generalmente quella di gestione batteria) sorveglia l'intensità di corrente sul percorso di sicurezza. Quando la corrente è interrotta, la situazione è rilevata dalla centralina. In seguito, la centralina di gestione batteria apre gli interruttori di potenza nella batteria AV stessa. In questo modo, il sistema ad alto voltaggio è disconnesso.

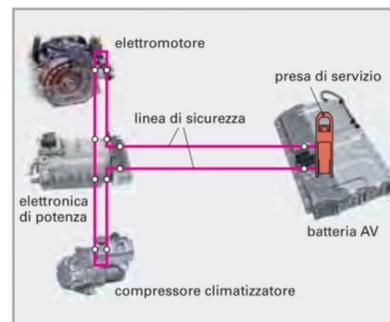


Figura 2: Percorso di sicurezza e presa di manutenzione

La presa di manutenzione (presa di servizio) rende possibile la disconnessione del sistema AV, in modo da operare in sicurezza.

Presenza di manutenzione. È situata in una posizione facilmente accessibile, nella maggior parte dei casi direttamente sulla batteria ad alto voltaggio. È riconoscibile dal colore arancione. Il connettore di manutenzione ha due posizioni:

- nella prima posizione del connettore si separa la linea di sicurezza. A questo punto i teluruttori di protezione si aprono come se si azionasse un interruttore di emergenza. La linea di sicurezza svolge principalmente il ruolo di protezione anti-tiarco;
- nella seconda posizione del connettore il collegamento in serie dei due corpi della batteria viene interrotto. A questo punto è possibile sfilare il connettore di manutenzione. L'impianto ad alta tensione è disattivato e si deve accertare l'assenza di tensione.

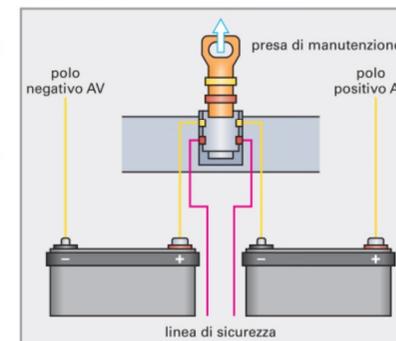


Figura 3: Esempio di presa di manutenzione con interruttore tra le due batterie

Installazioni aggiuntive di protezione nei veicoli AV.

- Sistema di raffreddamento per il mantenimento del limite di temperatura delle batterie AV.
- Elementi di commutazione per la scarica dei condensatori AV contenuti nell'elettronica di potenza dopo il distacco della presa di manutenzione.
- Convertitori DC/DC (alto voltaggio / 12 V) contenuti nell'elettronica di potenza, separati galvanicamente.
- Interruttore di collisione per la disconnessione del sistema AV mediante la centralina airbag.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Regole di sicurezza per interventi su sistemi AV

Riconoscimento dei veicoli AV (fig. 1). In officina i veicoli AV presenti devono essere riconoscibili mediante cartelli di segnalazione di pericolo bene in vista.

Delimitazione delle aree di lavoro. Per rendere inagibile l'accesso a persone non autorizzate, l'area di lavoro intorno ai veicoli AV deve essere circonscritta con dei nastri di segnalazione o simile.



Figura 1: Riconoscimento e delimitazione di veicolo AV

Prima che una persona esperta intervenga su un veicolo AV, deve essere stabilito se è necessaria una disconnessione del sistema AV.

In questo caso, ci si deve attenere alle prescrizioni del costruttore, le quali peraltro si orientano su direttive generali nel campo dell'elettrotecnica.

Nel caso in cui la disconnessione sia necessaria, una persona esperta di interventi su veicoli AV può eseguire la seguente procedura.

Disconnessione. Viene eseguita generalmente con l'ausilio di uno strumento di diagnosi. Dopo lo spegnimento dell'accensione, la presa di servizio viene staccata in modo da lasciare il sistema AV esente da tensione.

Messa in sicurezza contro la riaccensione. Deve essere posto un cartello di segnalazione di pericolo bene in vista sul veicolo (fig. 2).

Inoltre, l'attacco della presa di servizio è messo in sicurezza per mezzo di un coperchio con chiusura a chiave.

Verifica dell'assenza di tensione. Mediante uno strumento diagnostico specifico, i valori di misurazione relativi alla presenza di tensioni possono essere rilevati e valutati dalle centraline di comando

delle componenti AV. Se questo non fosse possibile, devono essere effettuate misurazioni di tensione ai raccordi delle seguenti componenti:

- batteria AV;
- elettronica di potenza;
- compressore del climatizzatore.

Con questa procedura, viene determinata l'assenza di tensione in osservanza alle prescrizioni del costruttore, mediante l'utilizzo di adattatori e strumenti di misurazione omologati.

Qualora, malgrado la disconnessione, viene misurata una tensione superiore al valore prescritto dal costruttore, è vietato tassativamente eseguire alcun tipo di intervento sul veicolo.

La seguente procedura è prescritta dal costruttore. Di regola, questi interventi sono eseguiti da enti specializzati in elettricità del ramo "Tecnica dell'automobile". Al termine degli interventi, il veicolo AV deve essere rimesso in funzione.

Rimessa in funzione. Deve essere eseguita solo da parte di una persona esperta di lavori su veicoli AV autosicuri. La rimessa in funzione comprende i seguenti punti:

- controllo visivo delle componenti e dei cablaggi in relazione a eventuali danneggiamenti e il fissaggio degli stessi;
- verifica dei cablaggi di compensazione di potenziale e, se necessario, misurazione delle resistenze intermedie;
- connessione della presa di servizio;
- controllo delle funzioni;
- stesura del rapporto di rimessa in funzione firmato dall'esperto competente.



Figura 2: Segnale di "Vietato alterare lo stato dell'interruttore"

15.5 Veicoli elettrici

I veicoli a trazione puramente elettrica sono in fase di sperimentazione e quindi prodotti in piccola serie. Non producono emissioni nocive in modo diretto (ZEV, Zero Emission Vehicle) e si caratterizzano per il loro funzionamento silenzioso. Si devono tuttavia tenere in considerazione le emissioni nocive indirette, cioè quelle legate alla produzione di energia elettrica.

La fig. 1 mostra una panoramica dei componenti del veicolo elettrico e le funzioni del sistema di gestione della trazione.

Trazione. I motori elettrici, al contrario di quelli termici, dispongono di una coppia motrice costante e uniforme su un'ampia fascia di regime di rotazione, così da poter evitare l'uso del cambio manuale o automatico, come pure della frizione. Anche la retromarcia è attuabile senza cambio. I motori elettrici funzionano autonomamente e non necessitano pertanto di un dispositivo di avviamento. Essi, di regola, dispongono solamente di un riduttore posto tra il motore elettrico (per esempio, elettromotore sincrono a magneti permanenti) e l'asse di trazione.

La leva di selezione della modalità di marcia è simile a quella di un comune cambio automatico. Al conducente è così data l'impressione di guida di un veicolo a trazione convenzionale.

Accanto alle funzioni P (parcheggio), R (retromarcia), N (neutro) e D (drive/marcia), il sistema può disporre di ulteriori funzioni:

- B (freno, dall'inglese brake); aumenta, in condizioni di discesa, il grado di recupero di energia;
- C (comfort); riduce l'effetto recupero di energia in condizioni di marcia a velocità costante su lunghe distanze.

Trazione ai mozzi ruota. La trazione di veicoli elettrici può avvenire, in alternativa, anche con il supporto di motori connessi direttamente al mozzo ruota. In questo caso, ogni ruota di trazione dispone di un proprio motore; non è necessario un assale di trazione e la struttura del veicolo è di fatto semplificata.

Sistema di carica On-Board. I veicoli a trazione elettrica dispongono di regola di due sistemi per la carica delle batterie:

- il sistema di carica normale permette una ricarica completa della batteria in circa 6 ore tramite una comune presa monofase a 230 V / 16 A;
- un sistema di carica rapida permette un allacciamento alle specifiche stazioni di carica rapida degli enti fornitori di energia elettrica. Queste stazioni dispongono di un cavo allacciato alla rete trifase a 400 V / 50 kW, in grado di caricare una batteria completamente scarica in circa 30 minuti, fino a raggiungere l'80% della capacità nominale. Con questo sistema, 5 minuti di carica consentono di percorrere 30 km di distanza.

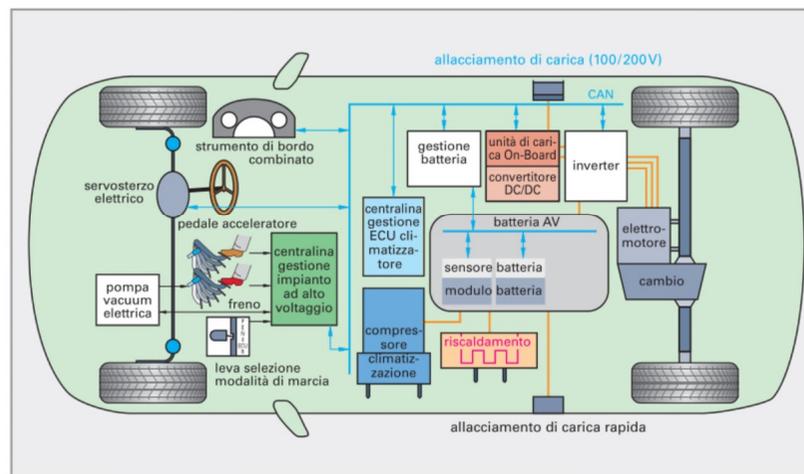


Figura 1: Componenti di un veicolo elettrico

La capacità della batteria dipende principalmente dalla temperatura esterna. Alle basse temperature, la capacità diminuisce e, di conseguenza, ne deriva un'autonomia di percorrenza fortemente ridotta.

Inverter (raddrizzatore di corrente continua). Trasforma la tensione continua della batteria in tensione alternata per l'elettromotore. Il convertitore DC/DC alimenta la batteria a 12 V del veicolo destinata agli aggregati secondari così come agli accessori e ai sistemi di equipaggiamento elettrici.

Componenti elettrici. In un veicolo a trazione elettrica, diverse componenti funzionano in modalità elettrica:

- servosterzo;
- pompa vacuum servofreno;
- compressore climatizzatore;
- riscaldamento abitacolo.

Il compressore del climatizzatore e il riscaldamento sono alimentati tramite la batteria ad alto voltaggio.

Cablaggio del veicolo. I seguenti componenti sono collegati al sistema CAN-bus:

- centralina di gestione sistema ad alto voltaggio;
- sterzo;
- strumento di bordo combinato;
- centralina comando climatizzatore;
- gestione batteria con batteria ad alto voltaggio e sensori batteria;
- inverter.

15.6 Veicoli a celle a combustibile (Fuel Cell Vehicle, FCV)

Struttura (fig. 1). Il nucleo della cella a combustibile è costituito da una membrana plastica conduttrice di protoni (PEM, Proton Exchange Membrane). Questa membrana è rivestita ai due lati con un catalizzatore in platino e da elettrodi in carta grafitata (piastre bipolari).

Nelle piastre bipolari, mediante fresatura, sono ricavati dei sottili canali di gas, attraverso i quali, da una parte, viene immesso idrogeno e, dall'altra, aria o ossigeno.

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.

Funzionamento. Su un lato della cella a combustibile (catodo) l'idrogeno (H_2) viene scomposto, mediante un catalizzatore, in protoni ed elettroni.

Per mezzo della membrana plastica (PEM) solamente i protoni possono raggiungere l'altro lato della cella (anodo), in quanto per gli elettroni l'attraversamento della membrana non è possibile. Se si mettono in collegamento catodo e anodo, gli elettroni a carica negativa si muovono, spostandosi sul lato positivo e generando un flusso di corrente che può far funzionare un utilizzatore, per esempio un motore elettrico. All'anodo si legano protoni, elettroni e ossigeno, trasformandosi in acqua.

Produzione di idrogeno. La produzione di idrogeno può avvenire tramite elettrolisi all'esterno del veicolo oppure mediante processi chimici a bordo del veicolo stesso.

Elettrolisi. In questo processo, l'acqua viene scissa in idrogeno e ossigeno per mezzo di corrente continua. L'idrogeno puro è immagazzinato ad alta pressione in speciali serbatoi.

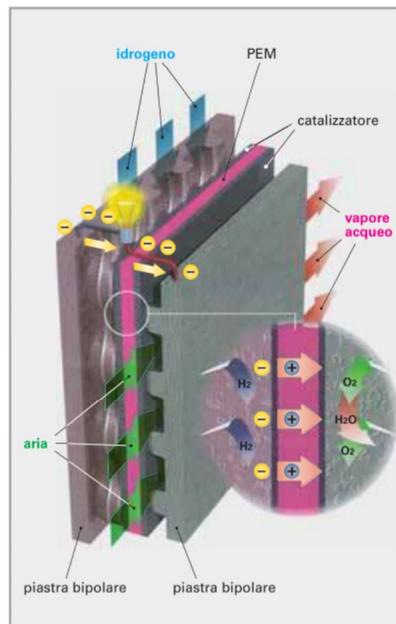


Figura 1: Struttura e funzionamento di una cella a combustibile

15

Componenti di un veicolo a trazione a celle di combustibile

Serbatoio di idrogeno compresso ad alta pressione. Dispone di un raccordo di riempimento che si trova nella parte posteriore del veicolo (fig. 1). Il serbatoio ha una capacità di circa 170 litri ed è riempito con una pressione di circa 350 bar. In questo modo, il veicolo ha un'autonomia di percorrenza di circa 460 km.

Batteria agli ioni di litio. Essa dispone di una tensione di circa 290 V ed è posizionata sul pianale del veicolo.

Pacco di celle a combustibile. Il pacco di celle a combustibile ha una potenza di circa 100 kW ed è posizionato anch'esso sul pianale del veicolo.

Batteria di bordo 12 V. La batteria di bordo 12 V serve per l'alimentazione degli aggregati secondari, così come per l'alimentazione degli accessori e dei sistemi di equipaggiamento elettrico.

Unità di trazione. È costituita da un elettromotore sincrono a corrente alternata ad eccitazione permanente e da un inverter.

Inverter. Trasforma la tensione continua prodotta dalle celle a combustibile in tensione alternata necessaria al motore di trazione. Nel medesimo tempo, sempre mediante l'inverter, sono alimentate sia la batteria ad alto voltaggio (batteria AV), sia la batteria 12 V della rete di bordo.

Motore di trazione. Il motore di trazione è concepito come motogeneratore (fig. 2), con il quale il veicolo può recuperare energia in frenata e immagazzinarla così nella batteria.

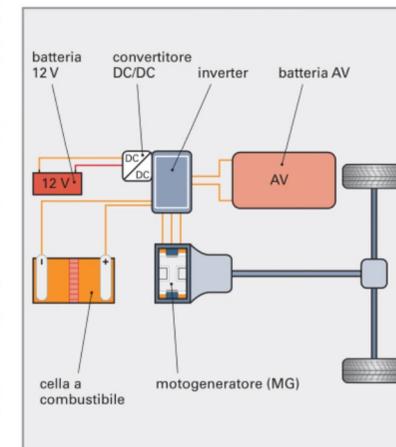


Figura 2: Sistema di trazione

Grazie alla particolare disposizione dei componenti, il veicolo a celle a combustibile ha un baricentro molto basso.

15

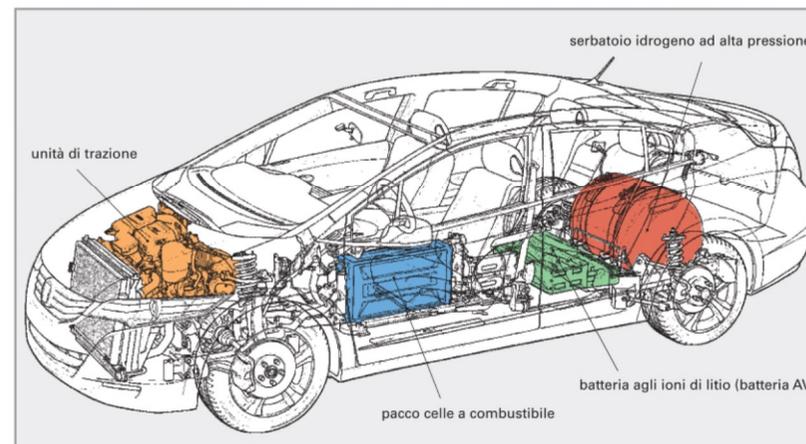


Figura 1: Componenti di un veicolo a celle a combustibile

Produzione di idrogeno a bordo del veicolo. Un'alternativa all'immagazzinamento di idrogeno in un serbatoio è rappresentata dalla produzione di idrogeno a bordo del veicolo.

Per questa soluzione, il veicolo è alimentato con metanolo liquido (CH_3OH). Il metanolo è mescolato con acqua desalinizzata, vaporizzata a 250°C e trasformato in idrogeno e CO_2 in un reformer a bruciatore catalitico. L'idrogeno pulito e in forma gassosa alimenta la cella a combustibile.

Nella conversione del gas si producono piccole quantità di CO_2 che vengono rilasciate nell'ambiente. La **fig. 2** mostra l'andamento della reazione chimica nel reformer di metanolo e nella cella a combustibile.

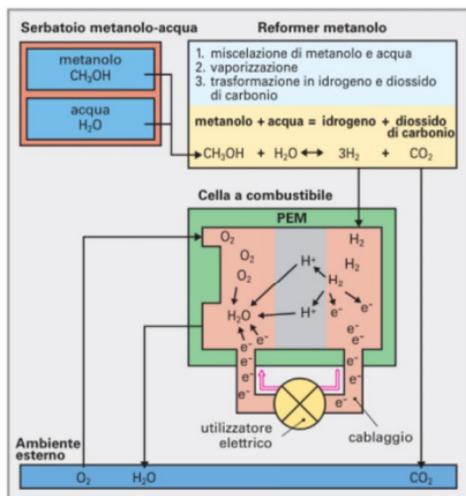


Figura 1: Reazione chimica nel reformer di metanolo e nella cella a combustibile

15.7 Motori a combustione interna a idrogeno

Struttura. Il funzionamento a idrogeno su motori a ciclo Otto è generalmente possibile. Per questa soluzione viene adottato uno speciale sistema di miscelazione, il quale calibra l'alimentazione di idrogeno e il ricambio di carica.

L'idrogeno possiede un potere calorico specifico inferiore a quello della benzina. Per trasportarne il maggior quantitativo possibile nel veicolo, l'idrogeno deve essere liquefatto e immagazzinato in un serbatoio isolato a una temperatura di circa -250°C . La liquefazione di idrogeno comporta un elevato dispendio energetico, costruttivo ed economico. Inoltre, a causa del suo bassissimo peso atomico, l'idrogeno è estremamente sfuggente. Si

diffonde praticamente attraverso ogni materiale di rivestimento che venga utilizzato per il suo contenimento, "imbevendolo" e alla lunga attraversandolo per uscire libero nell'atmosfera.

Funzionamento. L'idrogeno arriva alle valvole di soffiaggio dei singoli cilindri attraverso un filtro, un limitatore di pressione, valvole di disinserimento e un distributore quantitativo. La combustione avviene di principio con eccesso di aria. L'aria in eccesso assorbe calore e, di conseguenza, abbassa la temperatura di fiamma sotto il limite critico, al di sopra del quale la miscela può incendiarsi autonomamente. La bassa temperatura di combustione impedisce la formazione di ossidi di azoto (NO_x). Il motore a idrogeno lavora pressoché senza emissioni. Per questi veicoli, l'alimentazione della rete di bordo può avvenire anche per mezzo di una cella a combustibile.

15.8 Motori a combustione interna a olio vegetale

Olio vegetale. L'utilizzo di olio vegetale, per esempio olio di colza, è possibile sui veicoli a motore Diesel. L'utilizzo esclusivo di olio vegetale implica, tuttavia, dispendiosi interventi di trasformazione, in quanto questo tipo di carburante dispone di un numero di cetano inferiore a quello del carburante diesel e, inoltre, possiede anche una maggiore densità. Oltre all'installazione di un sistema di riscaldamento del carburante e di un relativo filtro a riscaldamento elettrico, a seconda del tipo di motore si devono modificare anche alcune componenti dell'impianto di iniezione.

Gli svantaggi nell'utilizzo di olio vegetale sono i seguenti:

- innalzamento dei valori delle emissioni a causa della cattiva polverizzazione del carburante iniettato;
- stoccaggio problematico a causa di possibili formazioni di impurità, muffe e batteri;
- impatto di odore sgradevole dei fumi di scarico.

Biodiesel. Durante l'esterificazione dell'olio di colza mediante metanolo, si forma olio metilestere di colza (RME), denominato anche estere metilico di colza. Questo tipo di carburante, denominato biodiesel, dispone, relativamente al numero di cetano, di caratteristiche simili al normale carburante diesel ed è altrettanto fluido. Il biodiesel si comporta però in modo aggressivo sui materiali plastici di guarnizione, tubazioni e sulle pompe di iniezione; di conseguenza, può essere utilizzato solamente su motori omologati dal costruttore per questo specifico impiego.

Il biodiesel utilizzato nei principali Paesi europei viene prodotto con circa l'80% di olio di colza e il 20% di olio di soia (metilestere di soia).