



Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**SISTEMI DI TRAZIONE ELETTRICA: ARCHITETTURE E
CARATTERISTICHE**

ELECTRIC TRACTION SYSTEM: ARCHITECTURES AND FEATURES

Candidato:

Pasquini Enrico

Relatore:

Prof. Palpacelli Matteo

Anno Accademico 2019/2020



SISTEMI DI TRAZIONE ELETTRICA: ARCHITETTURE E CARATTERISTICHE.

1 INTRODUZIONE

2 ASPETTI GENERALI

- *2.1 Funzionamento motore elettrico*
- *2.2 Suddivisione motori*
- *2.3 Inverter*
- *2.4 Regolazione*
- *2.5 Efficienza*
- *2.6 Materiali per motori elettrici*
 - 2.6.1 Conduttori*
 - 2.6.2 Ferromagnetici*
 - 2.6.3 Isolanti*

3 TIPOLOGIE DI MOTORI PER AUTO

- *3.1 Motore sincrono a magneti permanenti*
- *3.2 Motore asincrono o a induzione*
- *3.3 Configurazioni di motori*
 - 3.3.1 Motori a trazione posteriore*
 - 3.3.2 Motori a trazione anteriore*
 - 3.3.3 Motori a trazione integrale*
 - 3.3.4 Motori su ruote*

4 AUTO ELETTRICHE

- *4.1 Batterie*
 - 4.1.1 Batterie agli ioni di litio*
 - 4.1.2 Batterie allo stato solido*
 - 4.1.3 Durata di vita*
 - 4.1.4 Ricarica*
 - 4.1.5 Sicurezza*

- *4.2 Differenziale*
- *4.3 Cambio*
- *4.4 Freni*
- *4.5 Lubrificazione*
- *4.6 Costi*

5 AUTO IBRIDE

- *5.1 Tipologie di powertrain*
 - 5.1.1 Mild Hybrid*
 - 5.1.2 Full Hybrid*
 - 5.1.3 Ibrido Plug-in*
 - 5.1.4 Micro Hybrid*
 - 5.1.5 Installazione*
- *5.2 Tipologie di ibrido*
 - 5.2.1 Ibrido serie*
 - 5.2.2 Ibrido parallelo*
 - 5.2.3 Ibrido misto*
- *5.3 Cambio*
- *5.4 Lubrificazione*
- *5.5 Costi*
- *5.6 Macchina ibrida vs macchina elettrica*

6 CONFIGURAZIONI

- *6.1 Costruzione*
 - 6.1.1 Pianale e batteria*
 - 6.1.2 Aerodinamica*
 - 6.1.3 Sistemi di controllo*
 - 6.1.4 Auto elettriche senza batteria*
- *6.2 Problematiche*

7 CONCLUSIONI

8 FONTI BIBLIOGRAFICHE

9 RINGRAZIAMENTI

1 INTRODUZIONE.

Questo elaborato è stato concepito perché ritengo l'argomento della mobilità elettrica un punto di svolta per il futuro. Inoltre, trovo molto utile conoscere le tematiche relative alla creazione di una macchina elettrica.

Lo studio è stato incentrato su argomenti riguardanti l'aspetto meccanico, cercando di capire le varie componenti che si trovano sulle automobili elettriche, osservando differenze strutturali con le cugine endotermiche.

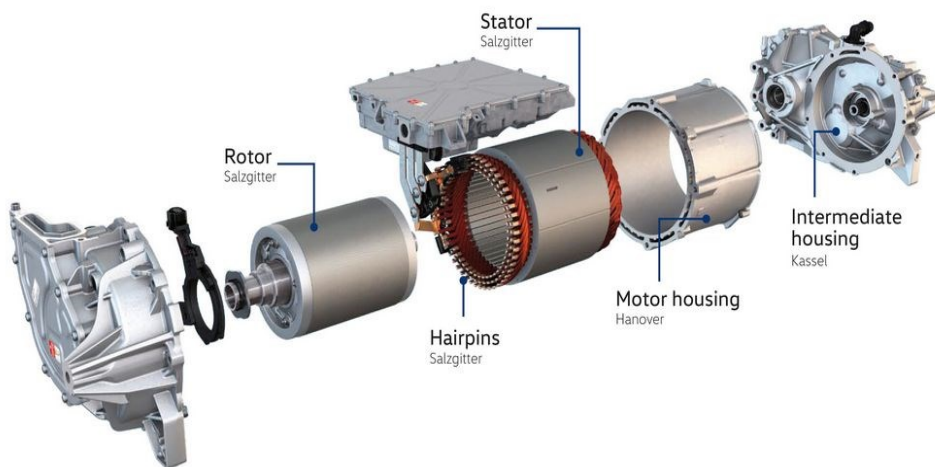
Viene suddivisa in cinque capitoli, più le conclusioni: nei primi due, si è cercato di fornire informazioni su aspetti più generali, sui motori elettrici generici, oppure quello che riguarda i materiali utilizzati.

Nei successivi due si è incentrato il discorso sulle automobili, suddividendo quelle 100% elettriche e quelle ibride, analizzando alcune differenze tra le suddette categorie. Non si sono ripetuti aspetti ridondanti, come per esempio il discorso sui freni che sono stati trattati una volta sola.

Infine, nel quinto capitolo si è cercato di carpire gli aspetti che influenzano la costruzione delle automobili.

Non ho disdegnato l'ascolto e la visione di filmati su piattaforme di riproduzione video, che mi sono tornati molto utili per prendere familiarità col linguaggio specifico del settore in questione.

2 ASPETTI GENERALI



Esploso di un motore elettrico

Hairpins = forcine

2.1 Funzionamento.

Un motore elettrico è una particolare **macchina elettrica rotante** che trasforma l'energia elettrica in ingresso, applicata ai morsetti di alimentazione, in energia meccanica in uscita resa disponibile sull'asse del motore. Questa tipologia di macchina elettrica è fondata, analogamente a quanto accade nel generatore elettrico, sulle forze elettromagnetiche che interagiscono tra un sistema di correnti ed un campo magnetico.

Le due componenti fondamentali sono il **rotore** e lo **statore**, che, alimentati da corrente elettrica, generano due campi magnetici, tramite l'uso di magneti permanenti o tramite avvolgimenti elettrici in cave presenti in un nucleo di lamierini di ferro o ferrite (elettromagnete), che interagendo, fanno sì che si sviluppi la coppia motrice. L'eccezione viene rappresentata dai motori detti "brushless", ovvero senza spazzole, dove è solamente lo statore ad essere alimentato dalla corrente. Questi ultimi sono anche i più recenti cronologicamente.

Una particolarità che fa differire di molto un motore elettrico da uno endotermico, è data dal fatto che sia **invertibile, recuperando energia elettrica**. Durante l'azione di frenata (e conseguente decelerazione, riferendosi al caso delle automobili), si innesca un processo di recupero parziale, facendo funzionare il motore come un generatore di corrente. Il

recupero non si ha sui motori a combustione, dove l'energia della frenata viene dissipata totalmente come calore.

2.2 Suddivisione motori.

Quella classica avviene tra motori alimentati in **corrente continua** (DC) e in **corrente alternata** (AC). Tuttavia, questa classificazione non è estremamente precisa perché molti motori elettrici sono costruttivamente simili a quelli in corrente continua, essendo alimentati a corrente alternata e sono detti **motori universali**.

Una diversa distinzione si può fare in tra **motori sincroni** e **asincroni**. Nei primi, la velocità di rotazione dell'asse è rigidamente vincolata alla frequenza della tensione di alimentazione e troviamo un rotore che supporta diversi poli magnetici di polarità alterna e uno statore corredato degli avvolgimenti del circuito di alimentazione. Nei secondi, la velocità di rotazione dell'asse è sempre minore della velocità di rotazione del campo rotante, che dipende dalla frequenza della tensione di alimentazione: come indicato dal termine, non c'è sincronizzazione.

Il motore asincrono è composto da uno statore fisso su cui sono avvolte le espansioni polari e che contiene al suo interno un rotore ed un circuito o a gabbia di scoiattolo che è il tipo più semplice e robusto di rotore, oppure avvolto (o bobinato). Lo statore, generando un campo magnetico rotante, provoca nella gabbia forze elettromotrici elettriche che sostengono correnti. Il funzionamento del motore asincrono genera un rendimento basso nei piccoli motori ed elevato in quelli di grandi dimensioni.

Il motore sincrono è più costoso, più affidabile e con un ottimo rapporto peso/potenza, mentre il motore asincrono costa poco, rimane affidabile non necessitando di particolare manutenzione. Inoltre, sopporta meglio le alte temperature, che potrebbero rendere più difficoltosa l'accelerazione.

2.3 Inverter.

Un altro componente da non trascurare è l'**inverter**, ossia l'invertitore, che grazie ad un apparato elettronico converte corrente continua in alternata (da ingresso ad uscita) permettendo inoltre di variare parametri come ampiezza e frequenza della corrente stessa,

che influenzeranno coppia e potenza del motore. Ciò che esce è una corrente alternata trifase che entra nel motore.

Gli inverter e l'elettronica di potenza hanno permesso anche di risolvere un grosso problema del motore sincrono nelle automobili, quello relativo all'**avviamento da fermo**, dove per effetto dell'inerzia, non ha il tempo di seguire il campo magnetico rotante, non muovendosi. Prima di questo elemento fondamentale, si usava avviare il motore sincrono con uno asincrono, successivamente da scollegare e sostituire col carico motore. Grazie all'inverter si riesce a regolare sia la tensione (e quindi la corrente) di alimentazione che la frequenza: partendo da una frequenza nulla (alimentato con la corrente continua) si riesce a generare quella coppia di spunto per farlo avviare e poi con la variazione della frequenza si seguono le esigenze del regime di rotazione ricercato lavorando frequenza e velocità angolare in perfetta "sincronia".

Nei motori elettrici (sia sincroni che asincroni), la velocità di rotazione è legata alla frequenza della tensione di alimentazione. Vengono usati anche inverter da corrente alternata a corrente alternata. Questi sistemi non sono semplici inverter, ma un sistema di raddrizzatori-invertitori, dove avviene la conversione della corrente in entrata (alternata) in continua dal raddrizzatore, viene livellata da condensatori e poi successivamente passa nella sezione di inversione. In questa maniera si può variare la frequenza a piacere, entro un certo intervallo predefinito, senza dover necessariamente utilizzare un trasformatore.

Nelle automobili risulta essere un componente critico, soggetto più facilmente rispetto ad altri a guasti o malfunzionamenti, è quindi un componente prestante e sensibile allo stesso tempo: gestisce potenze di centinaia di kW modulandole secondo i voleri del guidatore. Si capisce che un malfunzionamento dell'inverter può causare molti disservizi all'automobile elettrificata, generando brevi transitori sballati, passati i quali si avrebbe un calo di potenza più o meno marcato.

2.4 Regolazione.

La velocità di rotazione del motore sincrono è legata alla frequenza della corrente con

questa formula: $\frac{f_v}{p} = f_R$.

Dove f_R è la frequenza del motore, f_V la frequenza elettrica (variabile da paese a paese; ad esempio in Italia è 50 Hz, negli Stati Uniti è 60 Hz) e p è il numero di espansioni polari per ogni fase presenti nel motore. Un motore con più espansioni polari per fase gira più lento ma sviluppa una coppia meccanica maggiore.

Sull'auto elettrica la velocità viene regolata variando la frequenza della corrente che alimenta il motore: a questo pensa l'inverter rispondendo ai comandi del pedale dell'acceleratore. Più precisamente, mentre il motore ruota per generare la rotazione del campo magnetico nello statore, si utilizza un'elettronica dedicata, l'inverter con a bordo alcuni transistor di potenza pilotati da un microcontrollore.

Oltre ad arrivarci la corrente continua, arrivano anche i segnali dell'acceleratore e della posizione del rotore rispetto allo statore, in questa maniera verrà prima determinato l'orientamento da dare al campo magnetico e successivamente saranno regolate la frequenza e l'intensità di corrente da fornire allo statore.

Durante la decelerazione invece, si utilizza il raddrizzatore, che compiendo il percorso inverso, consente una fase di recupero dell'energia, convertendo la corrente alternata in continua dal motore verso le batterie agli ioni di litio.

2.5 Efficienza.

Rispetto ai motori a combustione, che hanno un'efficienza energetica che si attesta attorno al 30-45% (considerando il ciclo Otto e il ciclo Diesel), i motori elettrici raggiungono dei valori che variano tra il 70 e il 90%, in base alla tipologia di tecnologia utilizzata, ma si presume che questa possa aumentare in futuro, sfiorando il 100%. Questo paragone schiacciante nei confronti dei motori termici deriva dal fatto che in questi ultimi si avranno molte dispersioni nel "tragitto" dell'energia dalla camera di combustione fino alle ruote, dovute al moto, che da lineare (in partenza) deve essere trasformato a rotatorio tramite un sistema cinematico che comprende bielle, pistoni e vari tipi di manovellismi che causeranno grosse perdite (50% o più), riducendo la quantità di energia che arriva alle ruote. Invece, in quelli elettrici si avrà una produzione diretta della rotazione, ma con molte meno parti in movimento, con perdite legate sempre ad attriti e dispersioni, ma in misura molto ridotta.

2.6 Materiali.

I miglioramenti dei motori per renderli più compatti, più leggeri e più efficienti sono dovuti, oltre che ad un progetto ponderato del circuito magnetico, all'utilizzo di migliori materiali magnetici, conduttori ed isolanti.

2.6.1 Conduttori.

I due principalmente utilizzati sono **rame** e **alluminio**, sia nelle macchine che negli impianti elettrici per il fatto di avere una bassa resistività (ρ). Il rame è di gran lunga il conduttore più usato oltre che per la bassa resistività, anche per le ottime proprietà tecnologiche (come trafilabilità, facilità di laminazione a caldo e a freddo, saldabilità) per la sua conducibilità elettrica elevata (inferiore solo all'argento), resistenza all'ossidazione, le elevate proprietà meccaniche e ultimo ma non per questo meno trascurabile, la facilità di riutilizzare i rottami, quindi la riciclabilità. L'alluminio invece rispetto al rame è meno costoso, con un peso specifico inferiore e molto malleabile, ma presenta valori più bassi di temperatura di fusione, caratteristiche elettriche (più resistività, che implicherà a parità di resistenza elettrica una maggior sezione) e meccaniche (resistenza alla rottura a trazione, per esempio).

2.6.2 Ferromagnetici.

Si suddividono in dolci, duri o magneti permanenti, a seconda che i relativi processi di magnetizzazione siano reversibili o presentino una considerevole isteresi.

I materiali **dolci** sono utilizzati in forma massiccia o laminata (lamierini) a seconda che il flusso sia costante o variabile. Le loro principali proprietà sono la permeabilità relativa e nel caso dei lamierini la cifra di perdita [cioè le perdite per isteresi, che sono proporzionali all'area del ciclo di isteresi e per correnti parassite, in un kg di materiale nel caso di $f=50\text{Hz}$ e $B=1\text{T}$]. I materiali **duri** sono caratterizzati dall'andamento della caratteristica $B(H)$ nel secondo quadrante del piano $B-H$ (caratteristica di smagnetizzazione) ed in particolare dai valori dell'induzione residua, del campo coercitivo, del massimo prodotto di energia $(BH)_{\text{max}}$. Smagnetizzazioni sia reversibili che irreversibili possono verificarsi per: aumento della riluttanza, elevati campi smagnetizzanti e variazioni della temperatura. Nel progetto

dei motori a **magneti permanenti** un fattore limitante da considerare è il volume per i magneti **ceramici** ($BH_{max}=30[\frac{kJ}{m^3}]$), il costo per i magneti alle **terre rare**. Leghe di samario-cobalto (con alta resistenza a ossidazione e corrosione, ma costose), o leghe di neodimio-ferro-boro (migliori per proprietà meccaniche e magnetiche), sono due delle quattro leghe impiegate per la costruzione di magneti permanenti, le altre sono quella alnico (elevata induzione residua) e le ferriti (le più economiche).

2.6.3 Isolanti.

Funzionamento e durata delle macchine elettriche dipende da essi, che sono gli elementi più sensibili alle sollecitazioni termiche, dielettriche e meccaniche. Le principali proprietà dei materiali isolanti sono: la **rigidità dielettrica** (cioè il più alto valore del gradiente di tensione che il materiale può sopportare senza che avvenga la scarica), la **costante dielettrica** e la **conduttività termica**.

Un aumento di 10 °C della temperatura di esercizio produce circa il dimezzamento della durata di vita di un dielettrico. In base alle proprietà di resistenza alla temperatura vengono definite le seguenti classi di isolamento:

A 105 °C, E 120 °C, B 130 °C, F 155 °C, H 180 °C, C oltre 180 °C

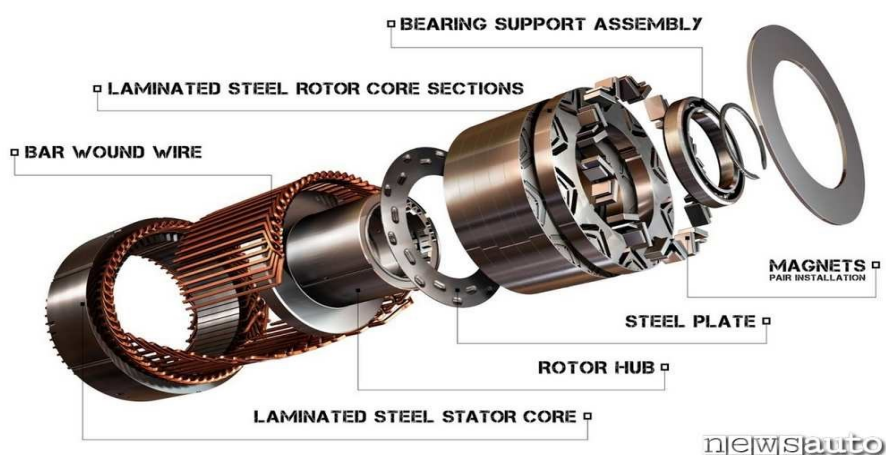
3 TIPOLOGIE DI MOTORI ELETTRICI PER AUTO.

In questo capitolo si analizzano le caratteristiche dei motori prevalentemente utilizzati nelle automobili elettriche e si fa una panoramica sulle varie trazioni, valutando in che modo e in che veicoli si possano attuare.

3.1 Motore sincrono a magnete permanente.

È la tipologia più utilizzata, poiché permette di lavorare con carichi variabili a diverse velocità, consumando meno corrente. Questi sono solitamente alimentati a corrente continua da **batterie al litio** e sono della tipologia **brushless**, senza spazzole. Sono molto compatti, e la loro strutturazione è molto più semplice rispetto ai classici motori a diesel o benzina, cioè quelli a combustione interna (questo vale un po' per tutti o quasi i motori elettrici).

Il rotore di un motore brushless non ha bobine né fili di rame ma due o più magneti "permanenti" che hanno il compito di generare il campo magnetico in corrente continua all'interno del nucleo dello statore, che a sua volta viene alimentato dalla corrente che genera dei campi magnetici rotanti.



I magneti solitamente sono installati in coppia.

Bearing support assembly=gruppo di supporto dei cuscinetti.

Rotor hub=mozzo del rotore

Rotor/stator core

Sullo statore, attraverso una gestione evoluta della corrente, si genera un campo magnetico variabile prodotto dagli stessi avvolgimenti e l'interazione dei due campi magnetici dello statore e del rotore produce la coppia motrice che permette il movimento

dell'auto. Questa tipologia può funzionare sia in CC che in CA, grazie ad un sistema di controllo, l'inverter.

Viene sfruttato il principio elettrodinamico di conversione dell'energia, dove il rotore è posto in movimento per reazione fisica. Esistono due varianti nella costruzione di questi motori tra le più utilizzate in ambito automotive, dovuti al posizionamento dei magneti sulla struttura: Surface (SPM) e Interior (IPM), con una più ampia capacità di variare il range di velocità e funzionamenti di elevata potenza, che viene scelto per la maggior parte dei veicoli a propulsione ibrida.

Il **rendimento** del motore sincrono a magneti permanenti Brushless è maggiore rispetto a quello dei motori a corrente continua asincroni ed arriva anche al 98%. Questi motori realizzati con un rotore di materiale ferromagnetico laminato hanno una un'inerzia rotorica molto bassa che permette di avere un controllo estremamente preciso e rapidità in accelerazione.

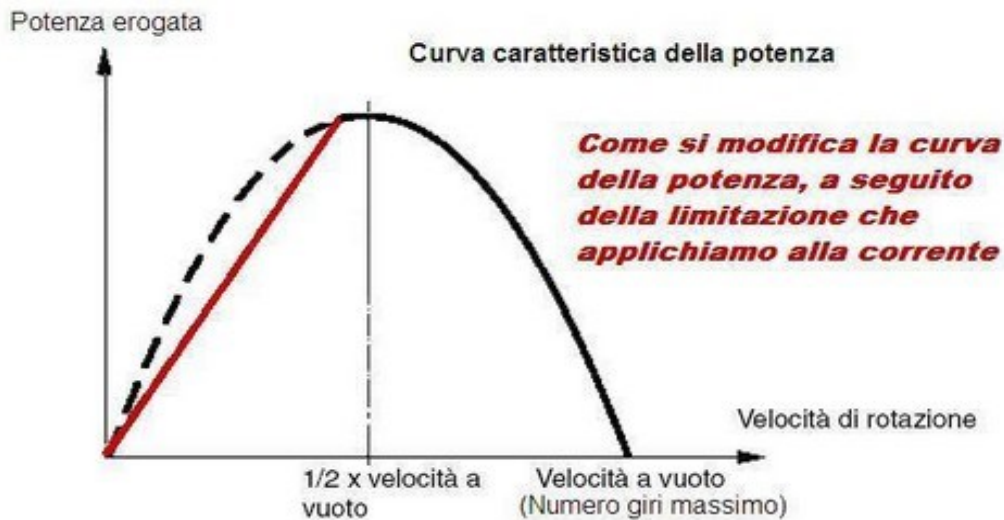
Se per dosare potenza (e coppia) di un motore endotermico vengono variate le quantità di aria e benzina immesse nel motore stesso attraverso il pedale dell'acceleratore, su un motore elettrico allo stesso modo c'è sempre un pedale collegato all'inverter che gestisce frequenza ed intensità della corrente.



Curva di coppia di un motore elettrico

La coppia massima, come si può osservare dal grafico, si può ottenere per velocità "zero", cioè quando il motore è fermo. Quando si parte da fermo con l'auto elettrica, si ottiene il massimo spunto: nonostante il peso molto maggiore rispetto alle cugine con motore a

benzina o diesel sono decisamente più prestazionali. A parità di corrente erogata e applicando un carico frenante, scende di giri fino ad un valore di rotazione nel quale riesce a bilanciare la coppia resistente.



Curva della
potenza
caratteristica di
un motore
elettrico al variare

Il motore può lavorare con tensioni e correnti diverse generalmente comprese tra -50% e +100% di quelle nominali massime previste. Se tuttavia viene "sottoalimentato" eroga meno potenza, se sovralimentato eroga più potenza ma si scalda maggiormente.

Per quanto riguarda i **vantaggi**, possiamo osservare una maggior resistenza meccanica, grande durata che gli permette di percorrere tanti chilometri, manutenzione periodica nulla, dovuta all'assenza delle spazzole presenti nelle altre tipologie di motori elettrici, che devono essere periodicamente controllate per valutarne l'usura. Inoltre, è bene ricordare un rendimento elevato, correlato ad un ingombro limitato.

Ovviamente essendo molto performanti, hanno costi elevati.

3.2 Motore asincrono o a induzione.

Il motore asincrono non utilizza magneti permanenti ma si basa su un principio più raffinato: induce un campo magnetico in movimento sia nello statore (la parte esterna del motore) sia nel rotore (quella in movimento), e sfrutta la differente velocità di rotazione tra i due campi per "trascinare" il rotore.

Anche qui è presente un inverter, che oltre a convertire la corrente continua proveniente dalla batteria in alternata, permette di regolare il carico determinando la velocità di rotazione del motore. Il motore asincrono ha un rendimento leggermente inferiore a quello del motore sincrono, mediamente l'85%, ragion per cui la ricerca di una maggior efficienza e autonomia gli ha fatto progressivamente preferire il secondo, tuttavia è più costante anche se il suo sistema di controllo, basato su un sensore di velocità, è più complesso.

Lo statore è formato da un pacco di lamierini aventi la forma di corona circolare. Le scanalature interne al pacco di lamierini statorici accolgono i conduttori dell'avvolgimento, che può essere trifase oppure bifase (a seconda del tipo di corrente alternata di alimentazione). Il rotore è situato all'interno dello statore ed è costituito da un pacco di lamierini aventi anch'essi la forma di corona circolare. Esso presenta un foro interno per il passaggio dell'albero di rotazione, e scanalature esterne (cave rotoriche) per accogliere l'avvolgimento rotorico. Quest'ultimo può essere di due tipi: rotore avvolto (detto anche ad anelli), rotore a gabbia di scoiattolo (detto anche in cortocircuito).

Tra statore e rotore è lasciato un piccolo spazio detto traferro, per consentire la libera rotazione del rotore. Questo sottile spessore d'aria (che funge da **dielettrico**) è di qualche decimo di millimetro o comunque quanto più piccolo consentito dalle tolleranze meccaniche.

Lo statore contiene in genere un numero pari di avvolgimenti in quanto, normalmente, ce ne sono due per ciascuna fase di alimentazione. Un motore **trifase**, ad esempio, avrà quindi come minimo sei avvolgimenti, cioè una coppia di poli per ogni fase. I due avvolgimenti di ciascuna coppia polare sono collegati in serie e disposti fisicamente l'uno di fronte all'altro. Nel caso del motore trifase a sei avvolgimenti le coppie polari presentano uno sfasamento di 120° fisici ed elettrici.

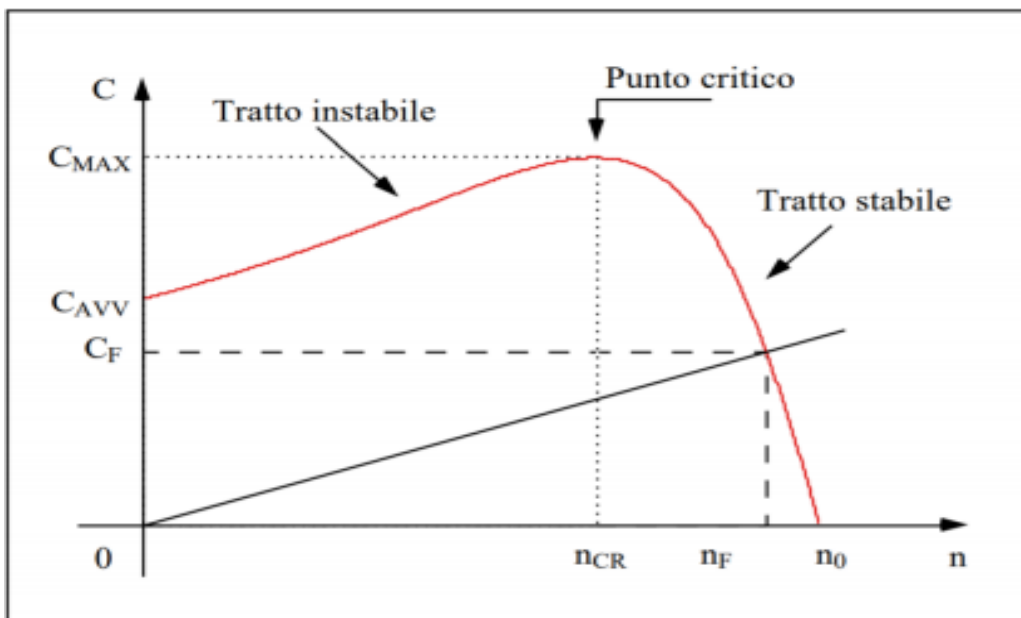
Il rotore non ruota a una velocità costante, cioè la velocità di sincronismo, ma **rallenta al variare del carico**; per questo il motore non è detto sincrono ma asincrono, cioè non rispetta la velocità di sincronismo imposta dallo statore. Infatti, la velocità di sincronismo del campo magnetico rotante di statore è, nel caso di una sola coppia polare di rotore: $n_s =$

$60 f$, dove n_s è il numero di giri al minuto dello statore (la velocità di sincronismo), mentre f è la frequenza. Il rotore ruota una velocità minore rispetto a quella di sincronismo; la indichiamo con n_R .

Considerando $n_s - n_R$, la differenza tra la velocità del campo magnetico rotante di statore e quella di rotore e rapportandola con la velocità di sincronismo, cioè la velocità che avrebbe dovuto avere il rotore se fosse stato in sincronismo con lo statore, si ricava lo

scorrimento $s = \frac{n_s - n_R}{n_s}$.

Esso è un numero adimensionale e varia tra 0 e 1, indicando quanti giri perde il rotore rispetto allo statore.



Curva caratteristica motore

Vengono messi in relazione il numero di giri in RPM con la coppia motrice C_m .

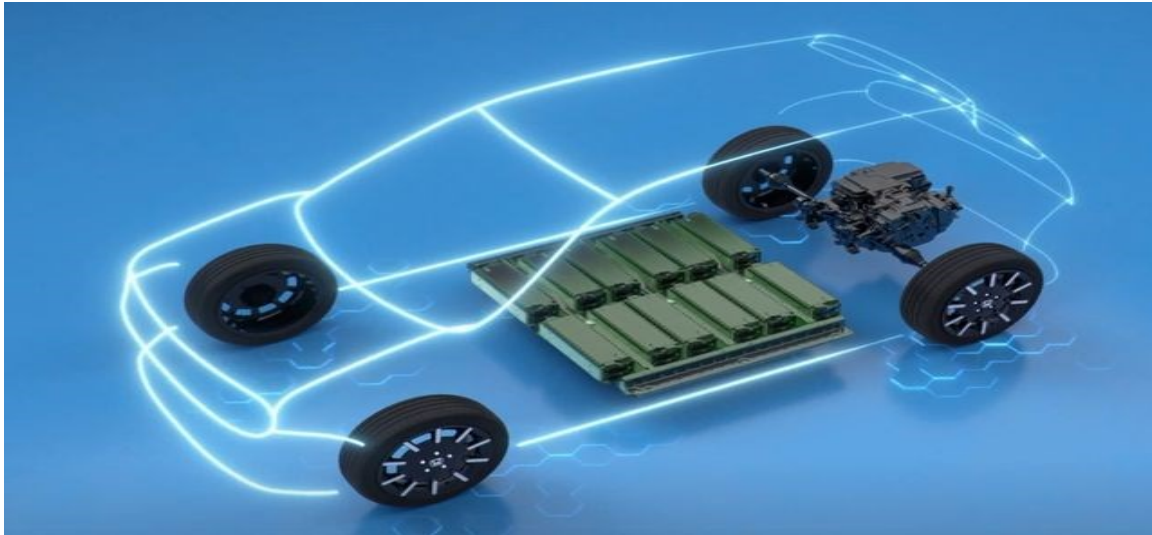
All'avviamento, dove $s=1$ (rotore fermo), si ha una coppia che vale il 20/40% rispetto a quella massima.

Il tratto stabile inizia una volta superato il punto critico. Il punto di lavoro è dato dall'intersezione con la curva della coppia resistente C_r . Nel tratto stabile, se sopraggiunge un fattore perturbatore che aumenta la C_r , per effetto di questo eccesso di resistenza, la velocità di rotazione tende a diminuire, ma questo rallentamento fa aumentare la coppia motrice C_m (come si evince dal grafico). Questo aumento di coppia motrice ripristina le

condizioni di funzionamento nel punto di lavoro precedente, non appena la causa perturbatrice cessa.

3.3 Configurazioni di motori

3.3.1 Motori a trazione posteriore.

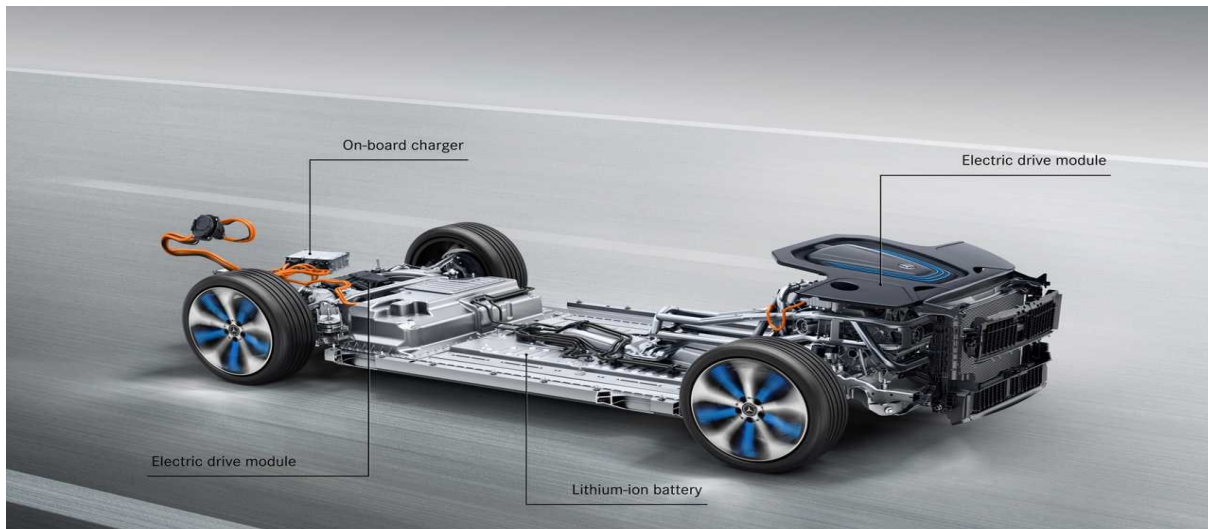


È la soluzione che va per la maggiore ed è destinata, ad oggi e nel prossimo futuro, ad essere utilizzata sempre di più, insieme alla trazione integrale; ad esempio, le Tesla, la Honda e, la Volkswagen ID hanno questa tipologia di trazione. In accelerazione, si alza l'anteriore e l'asse posteriore viene caricato maggiormente. Avere la trazione alle ruote posteriori aiuta a trasmettere a terra la coppia, perché le ruote motrici, più caricate, hanno maggiore aderenza. Dato che i motori elettrici erogano la coppia massima quasi istantaneamente, ha più senso usare la trazione posteriore o integrale rispetto a quella anteriore. Anche lo sterzo è favorito da questa configurazione, poiché vengono meno le sollecitazioni dovute alla trasmissione della coppia motrice e si potranno avere raggi di sterzata contenuti.

3.3.2 Motori a trazione anteriore.

La trazione anteriore è più frequentemente utilizzata su auto in cui l'impianto elettrico viene montato su modelli che originariamente erano anche progettati per essere termici. Renault Zoe, Kia e-soul, Hyundai Ioniq hanno una trazione di tipo anteriore proprio per la motivazione di cui sopra. Sarà quella che, a quanto pare, sarà destinata a scomparire (se non del tutto, in grossa parte) dalle auto elettriche.

3.3.3 Motori a trazione integrale.



Si ha una coppia di motori collocati sugli assi del veicolo. Per citare subito un esempio, la Ford Mustang Mach-E da 269 CV, ha una massa dichiarata di 1.969 kg (traz. posteriore) contro i 2.063 kg della versione a quattro ruote motrici. In pratica, la presenza del secondo motore sull'asse anteriore grava per meno del 5% di peso in più. Su questo modello si registra una crescita significativa in termini di coppia massima: 580 Nm contro i 430 Nm della versione a trazione posteriore, a parità di potenza di picco (269 CV). E l'accelerazione (dichiarata) da 0 a 100 km/h, passa da 6,1 a 5,6 secondi.

Un motore aggiuntivo sul secondo asse può migliorare l'efficienza generale, ma bisogna che il sistema sia ben configurato. I benefici raddoppiano letteralmente aggiungendone un secondo: rispetto ad una trasmissione tradizionale, che anche se evoluta deve in fin dei conti suddividere la forza motrice proveniente da un solo motore tra due assi, con l'aumento di parti in movimento, attriti e dispersioni energetiche varie, il secondo propulsore riduce al minimo i disagi.

Un problema potrebbe essere quello legato al peso. Se però si parla di modelli 4x4, spesso (ma non sempre) la differenza si riduce di parecchio e arriva addirittura ad equivalersi quando un'elettrica o una Diesel integrale arrivano ad avere la stessa massa: a quel punto, sulle vetture elettriche può risultare meglio distribuito e con un baricentro più basso.

3.3.4 Motori su ruote.



Capacitor ring = anello
del condensatore.

Brake disk = disco freno.

Bearing = cuscinetto.

Brake caliper = pinza

Spostare i motori direttamente nelle ruote, offre benefici molteplici: un alleggerimento della parte meccanica, una trasmissione ancor più diretta di quella già essenziale dei motori attuali, la possibilità di avere angoli di sterzo molto più ampi senza più i limiti dei semiassi e infine viene migliorata anche la sicurezza e la dinamica del veicolo abbassando ancora il baricentro e soprattutto controllando la trazione sulla singola ruota senza dover usare i freni. Di contro, si avrebbero delle “masse non sospese” molto più alte, cioè le masse delle ruote, che coi motori elettrici su di esse vedrebbero aumentare il proprio peso. Questa è una conseguenza indesiderata che comporterebbe un diametro maggiore delle ruote e un sistema di sospensioni molto più corposo e prestante, rispetto a macchine che hanno motori elettrici non su ruote.

Questa soluzione fin qui ha visto sviluppare motori che possono essere inseriti tra cerchio e freni, pesanti qualche decina di chili, con potenze massime di 75kW. Fino ad ora però, non si ha avuto modo di applicarla sui veicoli in commercio, nonostante l'industria competente ci lavori da molto tempo.

4 AUTO ELETTRICHE.

Attraverso una scomposizione son stati valutati i principali elementi che costituiscono un'automobile elettrica, quali ad esempio le batterie, il cambio, il differenziale, cercando di mettere in risalto le differenze rispetto a quelli montati su macchine termiche.

4.1 Batterie.

Sono il cuore della macchina elettrica. Le singole batterie sono di solito raggruppate in grandi sistemi di varia tensione e capacità per ottenere l'energia richiesta. Sono raggruppate e disposte in parallelo per poter produrre la potenza necessaria per il moto della macchina. Tale disposizione regala due vantaggi fondamentali: come prima cosa, è possibile far passare all'interno del pacco batteria una serpentina di raffreddamento, limitando così l'usura delle singole batterie e la corrente dissipata dal surriscaldamento. In seconda battuta, viene reso possibile gestire in modo molto congeniale la sua disposizione, infatti la batteria è posizionata spesso sul fondo del telaio della vettura, abbassandone così il centro di massa ed ottimizzandone la distribuzione: ciò si traduce in una migliore stabilità in frenata.

4.1.1 Batterie agli Ioni di litio.

La tipologia di batterie più frequentemente utilizzata oggi è quella agli **ioni di Litio**, dove in sostanza si può parlare di un anodo e di un catodo; nel primo è presente il carbonio (più precisamente la grafite), nel secondo si trovano gli ioni di litio. Le batterie agli ioni di litio (spesso abbreviate in Li-Ion) godono di una densità energetica molto elevata. Il che significa che batterie relativamente compatte e leggere generano maggiori quantità di energia elettrica rispetto ad altri tipi di batterie divenuto ormai superati (**Nichel-Metallo idruro** e al **Piombo**). Hanno preso il sopravvento nel settore automotive, con relativi pro e contro. Tra i primi, il grado di efficienza, che permette di risparmiare spazio e peso. A questo si aggiunge il fatto che non soffrendo dell'“effetto memoria” (che riduce la capacità della batteria, se questa non viene completamente ricaricata), non necessitano di cicli di carica e di utilizzo completi: possono essere ricaricate spesso e parzialmente senza perdere il loro potenziale. Tra i contro, però, si deve elencare la breve vita utile (al massimo otto anni): le batterie Li-Ion iniziano a decadere a livello prestazionale fin da quando sono

prodotte, se non vengono utilizzate. Infine, oltre ad essere altamente infiammabili, lavorano correttamente soltanto in un range ristretto di temperature che va da -10° a $+30^{\circ}$ Celsius.

Tra le tipologie di accumulatori si hanno LMO (litio-ossido di cobalto), NMC (litio-ossido di nickel manganese cobalto), che sono diffusi su molte auto elettriche, come ad esempio BMW i3 e Nissan Leaf, coniugando elevate correnti in accelerazione (LMO, circa il 30%) e maggiore autonomia (NMC). NMC è molto diffusa sulle auto elettriche: un esempio della sua applicazione è la Zoe, dotata di batteria da 41 kWh. In questo caso il catodo in nickel, manganese e cobalto permette di ottimizzare la batteria fornendo la massima energia o la massima potenza, con vantaggi sia elettrici che strutturali.

Un sistema di controllo è il **BMS** (Battery Management System), che in sostanza permette di controllare le fasi di carica e scarica delle batterie al litio, delle funzioni diagnostiche e di sicurezza per la gestione dell'alta tensione a bordo del veicolo. Tipicamente utilizza dei parametri, come SoC (State of Charge), SoH (State of Health) e DoD (Depth of Discharge) per valutare la salute della batteria. Viene determinata un'area operativa sicura, ovvero un'area all'interno della quale il pacco batteria garantisce le migliori prestazioni tecniche ed energetiche. Lo scopo di un BMS è quello di rivelare lo stato di funzionamento sotto forma di stato di carica e stato di salute (capacità), indicare la fine del ciclo di vita quando la capacità scende al di sotto della soglia di target impostata dall'utente. Dal SoH e SoC si ricava il SoF, lo stato di funzionamento complessivo.

Risulta molto utile anche per tenere sotto controllo la temperatura, entro un certo range diverso a seconda che la batteria stia venendo caricata ($0/45^{\circ}$) o scaricata ($-20/60^{\circ}$) e che nelle singole celle ci sia una distribuzione uniforme della stessa. In questo modo, complessivamente la batteria non verrà rovinata e potrà operare mantenendo le sue specifiche iniziali; se questo non accadesse, la batteria, o solo la singola cella, potrebbero rimanere permanentemente danneggiate, riducendo la capacità e la durata della stessa.

4.1.2 Batterie allo stato solido.

Evoluzione delle batterie agli ioni di litio, le **batterie allo stato solido** o ai polimeri di litio sfruttano una sostanza solida anziché liquida come elettrolita. Questa soluzione aumenta

la densità energetica della batteria, incrementandone di conseguenza la capacità di generare energia rispetto alle dimensioni (si parla di performance che possono toccare il +50%). Questa caratteristica si traduce nella capacità di percorrere lo stesso numero di chilometri con batterie più piccole o con batterie meno cariche (minor peso, minor ingombro), si suppone che un'auto elettrica avrà 500 chilometri di autonomia con una ricarica completa. Tra i vantaggi, anche il fatto che questo tipo di batterie è molto meno infiammabile e concede maggiore libertà nell'organizzazione degli spazi interni, permettendo ad esempio di realizzare moduli sottilissimi. Le batterie allo stato solido, infine, riescono a contenere anche meglio le temperature. Sono state utilizzate per la prima volta su larga scala da Tesla, che se ne è fatte sviluppare appositamente da Panasonic. Molte case però stanno seguendo questa direzione, come ad esempio Volkswagen, Toyota e BMW.

4.1.3 Durata.

La **durata di vita** dovrebbe essere considerata quando si calcola il costo di investimento, dato che le batterie si consumano e devono essere sostituite. La durata dipende da due fattori: la tecnologia utilizzata e la capacità. Ad oggi una normale batteria per autotrazione al litio dura circa otto anni. Terminato questo periodo, non significa che la batteria sarà da buttare via, ma vorrà dire che essa non sarà più funzionale al sistema di auto-trazione; la sua capacità massima avrà raggiunto una soglia (circa il 70%) tale per cui verrà rimossa dalla macchina ed utilizzata in altri modi, ad esempio, come accumulatore di energia.

Se invece si parla di durata su strada, cioè di **autonomia**, questa è variabile da modello a modello, con picchi massimi riscontrabili in quelli più performanti. Questa componente è, ad oggi, il problema dei vari costruttori dato che è ciò che penalizza le vetture elettriche. Per i modelli dotati di batterie al litio, viene dichiarata un'autonomia che varia da 200 a 400 Km, che ovviamente dipenderà dallo stile di guida adottato dal conducente. Inoltre, viene ritenuto opportuno arrivare all'incirca all'80% della capacità della batteria, non al 100%, perché così viene allungata la vita utile. Anche la scarica non dev'essere totale (anche perché non sarebbe conveniente e funzionale), ma è consigliato non scendere mai

sotto il 15/20%. Operando in questo range di carica (15-80%) si allunga la durata di vita utile della batteria.

Una importante novità arriva dalla CATL, un'azienda cinese produttrice di batterie che ha annunciato di esser pronta a produrre una batteria che dura 16 anni e poco meno di 2 milioni di chilometri (1,25 milioni di miglia). Una durata dieci volte superiore alle batterie odierne garantite in genere per 150 mila miglia. Tutto questo prevedendo un aumento dei costi del 10%, che sarebbe un grosso risparmio rispetto agli standard attuali.

4.1.4 Ricarica.

Le batterie delle vetture elettriche devono essere ricaricate, ovviamente non basta la possibilità di recuperare energia con la frenata. La maggior parte delle auto elettriche possono essere ricaricate all'80% della loro capacità in poco tempo, ma la velocità di ricarica domestica è vincolata dai contratti di fornitura di energia elettrica dell'impianto. Un'alternativa alla ricarica di un'auto con motore elettrico sarebbe quella di sostituire rapidamente il pacco batterie ormai scarico con un altro già carico, ma il costo totale di una simile operazione è al momento antieconomico.

Le tipologie di ricarica sono fondamentalmente 3: ricarica **standard**, **veloce** e **superveloce**. Quella standard è la più lunga e si effettua tramite colonnine a 22 kW (in Italia) a corrente alternata. Quella veloce e superveloce aumentano i kW, consentendo di accorciare i tempi (a corrente continua). Tra queste, quella più impegnativa è quella superveloce, quella meno è la standard.

Il problema ad oggi risiede nel fatto che non ci sia una distribuzione omogenea dei siti di ricarica per automobili elettriche, e questo scoraggia l'acquisto, soprattutto di chi viaggia molto. Tuttavia, attraverso decreti recenti, si sta cercando di favorire l'implementazione delle zone adibite alla ricarica, prevedendo una colonnina di ricarica ogni mille abitanti.

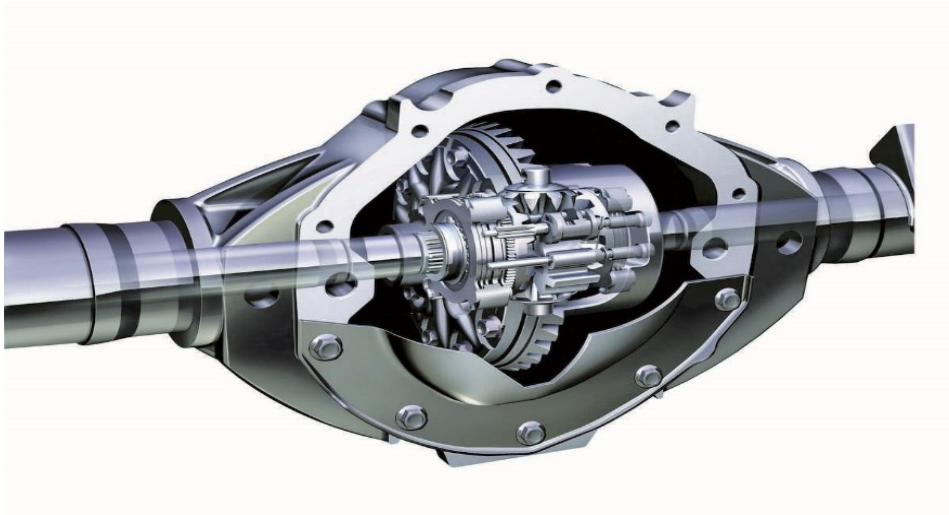
4.1.5 Sicurezza.

Ci sono degli involucri ermetici utilizzati per sigillare le batterie, rendendole sicure anche in caso di incidenti e incidono fortemente sul peso, aumentandolo di parecchio. Questi sistemi di sicurezza si rendono necessari poiché il voltaggio della batteria si può aggirare

intorno ai 3/400 Volt ed hanno dei circuiti di controllo che spengono il sistema di alimentazione in caso di malfunzionamento.

4.2 Differenziale.

Serve **per trasferire la potenza** del motore alle ruote, ma prima che questa vi arrivi, ne rallenta la velocità di rotazione e permette alle due ruote di girare sullo stesso asse a velocità differenti. Esso è formato da una **corona**, che è una grande ruota dentata, montata tra semiassi, che si accoppia al **pignone** ricevendo da questo il movimento del motore; da una **gabbia**, una scatola che si trova al centro della corona e al cui interno ci sono i pignoni in uscita e due assi, su cui sono installati due satelliti, uniti a due ingranaggi conici, detti planetari e che grazie all'inclinazione dei denti permette di ruotare a 90° gradi il movimento rotatorio. I **semiassi** sono degli alberi posti trasversalmente al senso di marcia, che collegano le ruote al differenziale e fanno parte della trasmissione, cioè trasmettono l'energia sviluppata dal motore alle ruote.

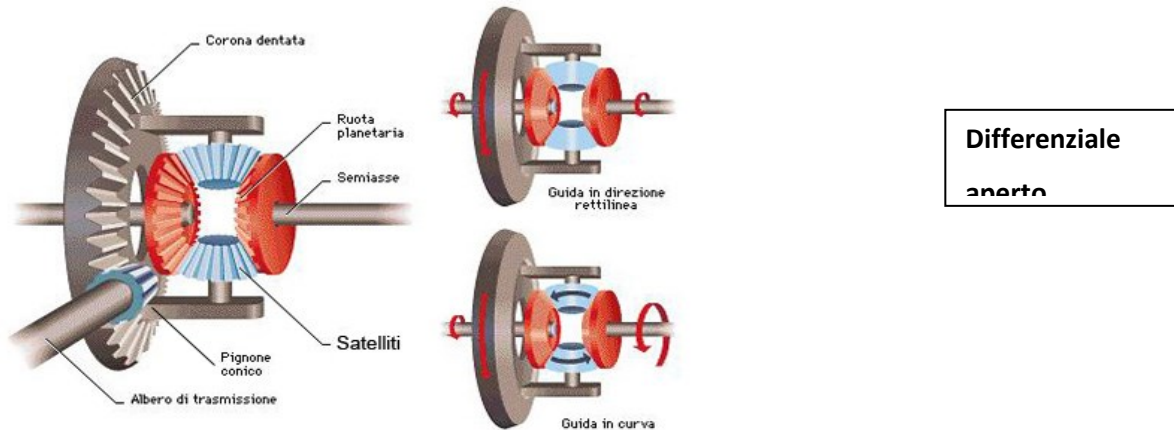


Differenziale

Il differenziale si applica solo sulle **ruote motrici**. Se non ci fosse, esse sarebbero forzate a girare alla stessa velocità. In curva si vede l'importanza del differenziale, perché gli pneumatici interni girano più lentamente di quelli del lato esterno, curvare senza di esso sarebbe molto difficile, poiché si arrecherebbe grave danno alla tenuta di strada, alle parti meccaniche e agli pneumatici stessi, mentre quando la macchina è in rettilineo trasmette

alle ruote un uguale numero di giri. Quando si affronta una curva, i pignoni della gabbia iniziano a girare, permettendo ai semiassi e quindi alle ruote, di girare a velocità differenti.

Nelle auto elettriche, si opta per un **blocco differenziale del tipo "aperto"**.



Il differenziale aperto è costituito da un pignone conico motore collegato all'albero di trasmissione. Tale pignone trascina la corona conica sulla quale è fissata la scatola del differenziale che funge da supporto. All'interno della scatola del differenziale vi sono i satelliti, solidali all'asse porta satelliti e che possono ruotare su sé stessi. I satelliti sono in presa con i planetari i quali, a loro volta, sono collegati ai semialberi o semiassi. Tale soluzione è più semplice, robusta e trasmette una coppia maggiore, ma ha forti problemi in situazioni scivolose asimmetriche (es.: neve, fango). L'auto elettrica non ha però bisogno di un differenziale **"anti slip"**, come una vettura dotata di motore a combustione. Ciò è possibile grazie al supporto del controllo della corrente; in particolare, l'opzione del taglio della potenza alle ruote è molto più efficiente e reattiva su un motore elettrico.

La vettura potrà quindi effettuare la classica partenza con una delle due ruote motrici che pattinano, anche con un differenziale aperto, godendo di questo supplementare ed efficiente aiuto nel "traction control" che ne elimina il punto debole. Nel moto rettilineo, ruote motrici e planetari ruotano alla stessa velocità, consentendo di distribuire la coppia equamente alle due ruote, che così andranno anch'esse alla stessa velocità.

4.3 Cambio.

Solitamente, il cambio nelle auto elettriche è a **marcia singola**, poiché in questa maniera viene garantita la coppia di spunto a bassi giri e successivamente anche la velocità giusta

per quelli alti. Il rapporto di trasmissione è elevato ed è grazie a questo che si soddisfano le condizioni di cui sopra. Ad esempio, se si utilizzasse un cambio più lungo, si potrebbe avere una velocità superiore, a scapito dello spunto a bassa velocità, che garantisce consumi bassi nella gran parte degli scenari di guida. In alcune macchine elettriche (sportive, più che altro) si è aggiunta una **seconda marcia**, dato che limitarsi ad una soltanto, non avrebbe permesso di raggiungere le alte velocità previste di solito per questo tipo di macchine. Si innesta automaticamente superata una certa soglia di velocità.

Il fatto che il cambio sia nella grande maggioranza dei casi mono-marcia, permette di ridurre vertiginosamente le rotture e le usure delle componenti tipici dei cambi presenti nelle auto normali e i successivi costi di riparazione. Inoltre, si ridurrà anche il peso delle componenti elettro-meccaniche e con esse i costi e la complessità dell'intero powertrain.

Le leva del cambio rimane presente, poiché sarà necessario mettere a folle la macchina (scollegando il motore elettrico dalla trasmissione) la posizione di avanzamento e di retromarcia (che viene garantita invertendo la polarità del motore). Si avranno anche la posizione di parcheggio che garantirà l'immobilità della vettura quando ferma e la posizione "brake" che permetterà di regolare l'intensità della funzione rigenerativa della frenata velocizzandola o rallentandola a seconda delle situazioni.

Per esempio, nella Porsche Taycan, un'auto elettrica sportiva con i cavalli che salgono a oltre 700 e la coppia arriva a 1.050 Nm., si usa il cambio a due marce. Con una sola, non riuscirebbe a esprimere tutto il suo potenziale. Il cambio mono-marcia avrebbe potuto rappresentare una "coperta troppo corta": per rendere trasferibile a terra tutta quella coppia (che è disponibile quasi subito) si sarebbe dovuto limitare troppo la velocità massima, non sacrificabile su una macchina sportiva. Allora la seconda marcia entra automaticamente superati i 100 chilometri orari e permette un maggiore allungo e la velocità massima di 260 km/h. La prima marcia ha un rapporto di 15:1 e la seconda marcia di 8:1. La Volkswagen ID invece ne ha una sola, con velocità inferiore (160km/h) raggiunta a 16000 giri e con un rapporto di trasmissione di 10:1.

Una novità interessante potrebbe averla proposta **Bosch**, il cambio CVT4EV, che permette al motore di funzionare in condizioni ottimali. Questo sistema è stato pensato per lavorare

alla continua ricerca del compromesso ideale tra efficienza e prestazioni. Attraverso la centralina viene controllata la velocità di rotazione e la coppia del motore elettrico e sarà utilizzato il rapporto di trasmissione migliore: quello che permette di lavorare sempre ai regimi di potenza massima e con giri inferiori rispetto al solito. A primo impatto, si nota subito il vantaggio della riduzione dei consumi, tuttavia quello maggiore parrebbe essere il poter dotare le auto elettriche di motori più piccoli, potendo sfruttarne al meglio il potenziale e riducendo sensibilmente peso e costo di produzione. Il cambio sarà strutturato in blocco (assieme ad inverter, trasmissione e motore) con rapporto adatto all'automobile su cui verrà montato, che principalmente saranno sportive, berline medie e veicoli commerciali leggeri.

4.4 Freni.

Nelle automobili elettriche (sia 100% che ibride) utilizzano un sistema di recupero dell'energia durante la frenata, che viene reso possibile dal fatto che un motore elettrico, possa fungere anche da generatore. In pratica, facendo "trascinare" il motore dall'inerzia del veicolo esso genererà energia trasferendola alle batterie e rallentando l'automobile senza usare i classici freni. Un generatore converte l'energia meccanica in energia elettrica mentre il motore elettrico fa il passaggio inverso: le due tipologie sono riunite in uno stesso dispositivo. Questa dote di "reversibilità" si attiva agendo sull'elettronica di controllo e mantiene una gran parte della proverbiale efficienza dei motori. Viene così immagazzinata energia elettrica nelle batterie, fino ad un valore che può arrivare ad estendere di circa il 30% l'autonomia. Quindi, se per un'auto vengono dichiarati 400 km di autonomia, circa 130 sono dovuti a questo processo di recupero.

Questo sistema viene definito **frenata rigenerativa** e si innesca rilasciando il pedale dell'acceleratore. Considerando una situazione ideale, partendo da un monte e supponendo di arrivare in pianura, grazie a questo sistema si potrebbero avere più kWh all'arrivo rispetto a quanti se ne avevano in partenza. Naturalmente è una situazione ideale che non tiene conto delle condizioni del terreno, della temperatura e dello stile di guida, ma serve per dare un'idea dell'utilità di questo sistema.

Sebbene si abbia la frenata rigenerativa, i **classici freni** nelle automobili elettriche sono ancora indispensabili. Questo per prevenire incidenti in caso di stop improvvisi, nelle quali l'azione di non dispersione e recupero dell'energia in frenata non sarà sicuramente sufficiente.

Si è puntato sin da subito a ridurre la loro rumorosità, in quanto questi tipi di veicoli sono molto silenziosi e il rumore della frenata crea un certo disagio acustico. Si cerca di farli con materiali diversi dal solito, leggeri ma con caratteristiche simili, nell'ottica di diminuire il peso totale. Si hanno pastiglie freno che soddisfano i più elevati standard riguardo prestazioni, comfort e durata e sono totalmente prive di rame.

Tipicamente si ha il classico sistema idraulico, che verrà sfruttato molto meno frequentemente rispetto alle auto tradizionali; questo potrebbe essere un problema per quel che riguarda la sua efficienza e durata, venendo utilizzato poco si potrebbero accumulare ruggine ed alcuni agenti contaminanti che potrebbero danneggiare l'integrità del montaggio della pastiglia freno oppure le guide della pinza. Si cercheranno dei materiali con un'elevata resistenza all'ossidazione per ovviare a questi inconvenienti. Nell'ultimo esempio citato poco prima, le pinze rovinare non si ritrarrebbero completamente dal disco, andando ad usarlo. Anche il fluido idraulico è da considerare a rischio, perché viene sottoposto raramente a temperature corrette (alte) per il suo funzionamento, col rischio che assorba umidità, rischiando di rovinarsi. La manutenzione del sistema di frenata resta quindi fondamentale anche nei veicoli puramente elettrici o ibridi.

4.5 Lubrificazione auto elettriche.

Si fa una distinzione tra elettriche e ibride, poiché tra le due, il modo, le componenti e l'uso dei lubrificanti non è lo stesso. Questo paragrafo si limita a considerare le auto 100% elettriche, quelle ibride saranno trattate nel capitolo successivo.

Il motore funziona a regimi molto elevati ma di fatto non genera, a differenza di quelli a combustione, composti chimici aggressivi. Bisogna considerare la presenza di tensioni elettriche elevate e di campi magnetici altrettanto intensi. I lubrificanti saranno anche a contatto con circuiti elettrici e sensori vari e dovranno essere compatibili con molte

sostanze: fili di rame, isolati e non, moduli elettrici, plastiche speciali e materiali isolanti. Anche i componenti meccanici lavoreranno in condizioni molto diverse: i riduttori dovranno gestire velocità d'ingresso molto elevate (circa 15.000 giri/minuto e anche più) e coppie consistenti, anche a zero giri. Le esigenze saranno quindi contrastanti: il rapporto di riduzione sarà più alto (questo potenzialmente richiede più ingranaggi) ma gli attriti dovranno essere ridotti per non penalizzare l'autonomia. Alcuni fornitori, per aumentare il rendimento, hanno in catalogo assali elettrici con un cambio a due velocità. Il motore in sé non ha bisogno di una lubrificazione molto intensa, girando per lo più su cuscinetti volventi, ma richiede quasi sempre il raffreddamento anche del rotore e questo implica l'uso di un fluido speciale che è diverso da un lubrificante classico. Nelle Tesla, per esempio, il raffreddamento del motore, dell'inverter e delle batterie è affidato ad un unico circuito, che se necessario scambia energia termica con l'impianto di climatizzazione.

4.6 Costi.

Per valutarli opportunamente, occorre considerare il **rapporto autonomia/costo**, cioè quanti km si possono fare con un pieno, che per ogni auto sarà variabile. Per esempio, la Tesla Model X garantisce 565 km con un pieno da 40 euro, facendo sì che il rapporto sia di 14.13 km/euro e si spenderebbero dunque 0.071 euro/km, mentre la Renault Zoe percorre 380 km con un pieno da 16 euro e il rapporto vale 23.75, spendendo 0.043 euro/km. Le caratteristiche del motore elettrico per auto garantiscono un notevole risparmio economico rispetto a una vettura dotata di propulsore tradizionale, ma la scelta deve essere valutata con attenzione in funzione dei chilometri percorsi quotidianamente.

Si potrebbe accennare al costo dell'auto, che ad ora è elevato rispetto alle concorrenti usuali col motore a combustione, ma negli ultimi periodi, tra evoluzione tecnologica ed alcuni incentivi, si sta progressivamente abbassando e si abbasserà ulteriormente.

5 AUTO IBRIDE.

Le auto ibride sono macchine che hanno un'alimentazione mista, dove "collaborano" il motore elettrico e quello a combustione che nella maggior parte dei casi è a benzina.

5.1 Tipologie di powertrain.

La ricerca e lo sviluppo di gruppo di moto-propulsione (powertrain) sempre più efficienti e green dal punto di vista ambientale ha portato le case automobilistiche a puntare con decisione sulla **tecnologia ibrida** che permette di ridurre i consumi e le emissioni di CO₂ rispetto alle auto ad alimentazione tradizionale. L'utilizzo di un'unità elettrica, infatti, permette di recuperare l'energia cinetica che verrebbe sprecata nelle fasi di frenata e di decelerazione per poi riutilizzarla per supportare o per escludere completamente, in base al grado di ibridizzazione del powertrain, il propulsore termico. Quest'ultimo ha essenzialmente due funzioni: trasformare l'energia chimica del carburante in energia cinetica e caricare la batteria del motore elettrico. Uno dei vantaggi dell'auto ibrida è il **risparmio in termini di consumi**. L'accoppiata tra motore termico ed elettrico, infatti, consente a queste vetture di offrire percorrenze superiori anche rispetto a quelle delle vetture diesel.

Si possono individuare alcune principali funzioni dell'unità elettrica:

1-nelle fasi di massimo carico, il motore elettrico permette di ottenere maggiori prestazioni mantenendo basso il consumo di carburante.

2-nella partenza da fermo, quando non si è in condizione di massimo carico, l'unità elettrica gestisce l'accelerazione senza che sia necessario l'intervento del propulsore a combustione.

3-in fase di rallentamento del veicolo, il motore elettrico è in grado di trasformare l'energia cinetica in energia elettrica, andando a ricaricare il pacco batteria.

Le auto ibride possono contare su tre diversi tipi di powertrain, che si possono ordinare in base al livello di tecnologia e al livello di elettrificazione utilizzato: Mild Hybrid, Full Hybrid, Plug-in Hybrid.

5.1.1 Mild-Hybrid.

Noto anche come sistema ibrido leggero, il **mild hybrid** è molto utilizzato nel mondo della mobilità elettrica perché è in grado di ridurre i livelli di consumo di carburante e di emissioni. Questa tecnologia sfrutta un motore elettrico di piccole dimensioni, azionato nella maggior parte dei casi a cinghia, che funge da alternatore/starter, motogeneratore e da supporto al propulsore termico nelle fasi di accelerazione. Durante le fasi di veleggiamento e frenata, il motore ad alimentazione tradizionale fa girare il motogeneratore, ricaricando così il pacco batteria di piccole dimensioni. Secondo i dati pubblicati dalle varie case automobilistiche, questo sistema permette di ridurre di un 15% i consumi rispetto ad un modello uguale ad alimentazione a benzina/gasolio.

5.1.2 Full Hybrid.

Il secondo livello di elettrificazione dei powertrain è il **full hybrid**. In questo motore la trazione è affidata al motore termico, all'elettrico o entrambi a seconda delle condizioni di marcia, permettendo di sfruttare in maniera combinata tutti e due i motori, aumentando così l'efficienza energetica totale. Rispetto agli ibridi leggeri, il sistema full hybrid permette di muoversi, anche se per non molti chilometri, anche in modalità completamente elettrica. La ricarica delle batterie è affidata alla frenata.

5.1.3 Ibrido Plug-in.

L'ultimo step dei sistemi ibridi che più si avvicina alle vetture 100% elettriche e che è alla base di questa transizione energetica che sta interessando il mondo automobilistico è l'**ibrido plug-in**. In questo caso, la presenza di batterie con capacità maggiore permette di sfruttare il powertrain anche in modalità 100% elettrica per circa 50/70 km in base al modello di auto. Questo sistema si distingue anche per la possibilità di ricaricare alla spina il pacco batteria oltre alla classica rigenerazione dell'energia cinetica in frenata.

5.1.4 Micro Hybrid.

Una menzione particolare va fatta per il **Micro Hybrid**, composto da batteria di alimentazione 12V e motorino di avviamento da 2-3 kW che permettono il funzionamento Start&Stop. Il motore termico viene così spento nel caso di brevi fermate temporanee del mezzo, (raggiunte particolari temperature funzionali) nel momento in cui il guidatore

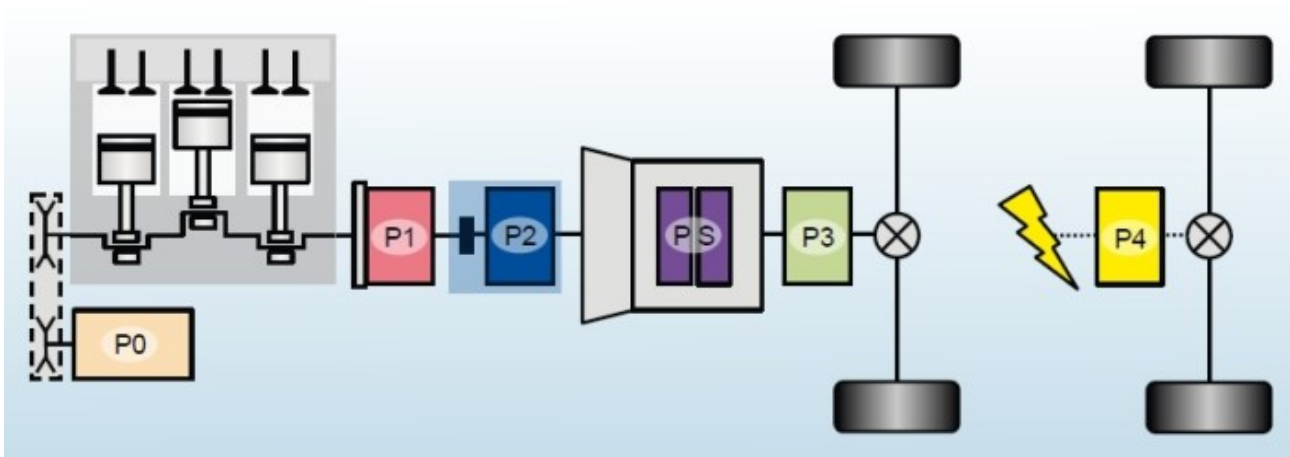
rilascia la frizione e la marcia è in folle; una volta ripremuta la frizione il motore termico si riaccende, consentendo un consumo e un inquinamento ridotti nei tragitti cittadini.

5.1.5 Installazione.



Ci sono varie possibilità di installazione, dato che i motori elettrici sono poco ingombranti e questo permette una certa libertà di scelta su dove inserirli nelle auto ibride. Le unità più piccole possono essere montate al posto dell'alternatore e quindi collegate prima del motore termico con una cinghia in una configurazione identificata con la sigla **P0**. Si tratta di Belt-driven Starter Generator (BSG) che agiscono anche come motorino d'avviamento e generatore, tuttavia non si avrà una potenza molto alta. Inserendo il motore/generatore all'uscita di quello termico abbiamo la configurazione **P1**, che vede la macchina elettrica girare alla stessa velocità dell'albero motore e richiede qualche modifica in più. Anche in questo caso la potenza non è molto alta ma c'è il vantaggio di un rendimento che, vista l'assenza della cinghia di azionamento, può superare il 90%. Il passaggio dalla sigla P1 a quella **P2**, che implica una frizione che disconnette il motore termico, apre molte possibilità alle auto ibride. Si possono aggiornare trasmissioni già esistenti, ad esempio sostituendo al convertitore di coppia il gruppo motore elettrico – frizione. In pratica il motore elettrico è collegato all'entrata della trasmissione ed eroga energia al posto di quello termico. La frizione permette di avviare il motore a scoppio, partire da fermo e viaggiare in modalità elettrica senza però trascinarlo. La configurazione **P3** invece, sposta il motore "a valle" del cambio. In questo modo si minimizzano le perdite, dato che il motore elettrico trascina soltanto la parte finale della trasmissione. Questa soluzione è un po' costosa, perché costringe a riprogettare buona parte della trasmissione. Le auto ibride con

la sigla **P4** hanno un motore elettrico che agisce esclusivamente sull'asse non collegato al motore termico, così da avere una trazione integrale senza collegamento meccanico con il motore termico. Anche il modo elettrico puro è facilmente ottenibile, basta scollegare la trasmissione "principale" e muoversi usando soltanto l'assale collegato al motore elettrico. L'utilizzo della sigla P4 massimizza il recupero dell'energia perché gli organi trascinati sono al minimo e di conseguenza lo sono anche le perdite meccaniche fino al motore elettrico. Una curiosità: per le auto ibride (e quelle elettriche) esiste la sigla **P5** che indica i motori nelle ruote, una soluzione che azzerava la "distanza", tuttavia questa sigla, a differenza di quelle precedentemente descritte, ha un'applicazione ancora limitata nelle auto di serie.

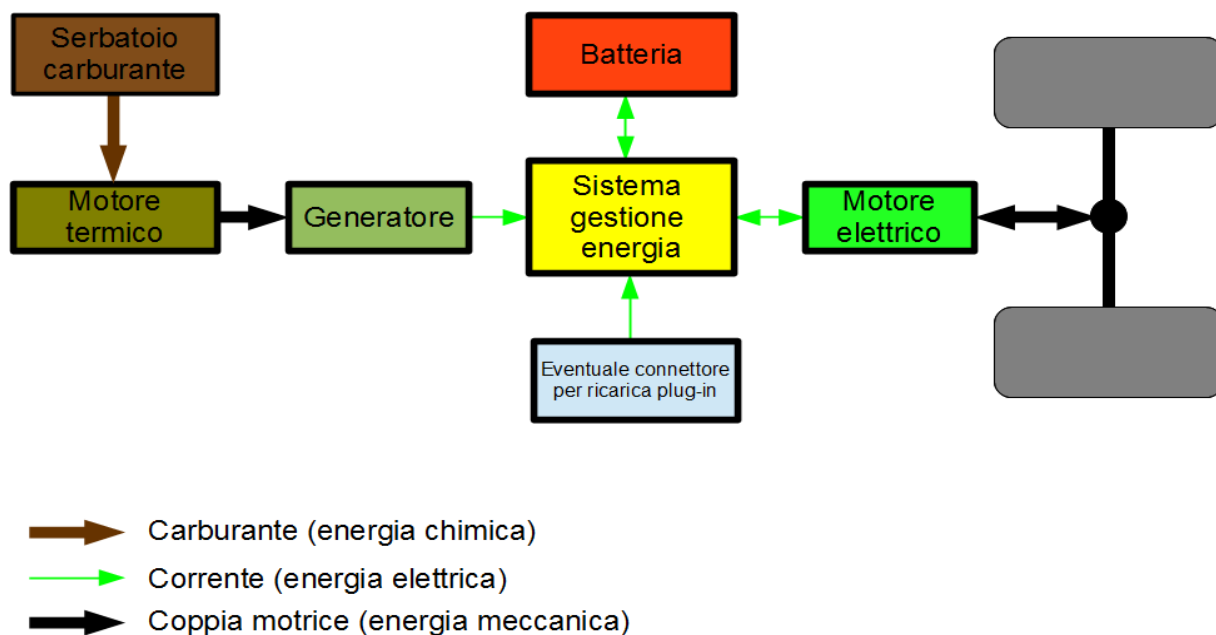


Come si può notare dallo schema, passando da P0 a P4, la distanza del motore elettrico dalle ruote motrici decresce, permettendo così di ridurre le perdite.

5.2 TIPOLOGIE DI IBRIDO

Se ne possono osservare tre differenti, a seconda di come motore elettrico ed endotermico sono correlati.

5.2.1 Ibrido serie.



Il motore **termico** non serve a dare trazione, essendo scollegato meccanicamente dalle ruote, ma serve per ricaricare quello elettrico. Esso, non “segue” le accelerazioni e rallentamenti della vettura, ma è invece libero di lavorare costantemente al suo **regime di funzionamento più efficiente** per la generazione di corrente per alimentare il motore elettrico. Nelle auto termiche, questo non è possibile per il fatto che il regime di rotazione e la posizione dell’acceleratore devono continuamente cambiare durante la guida.

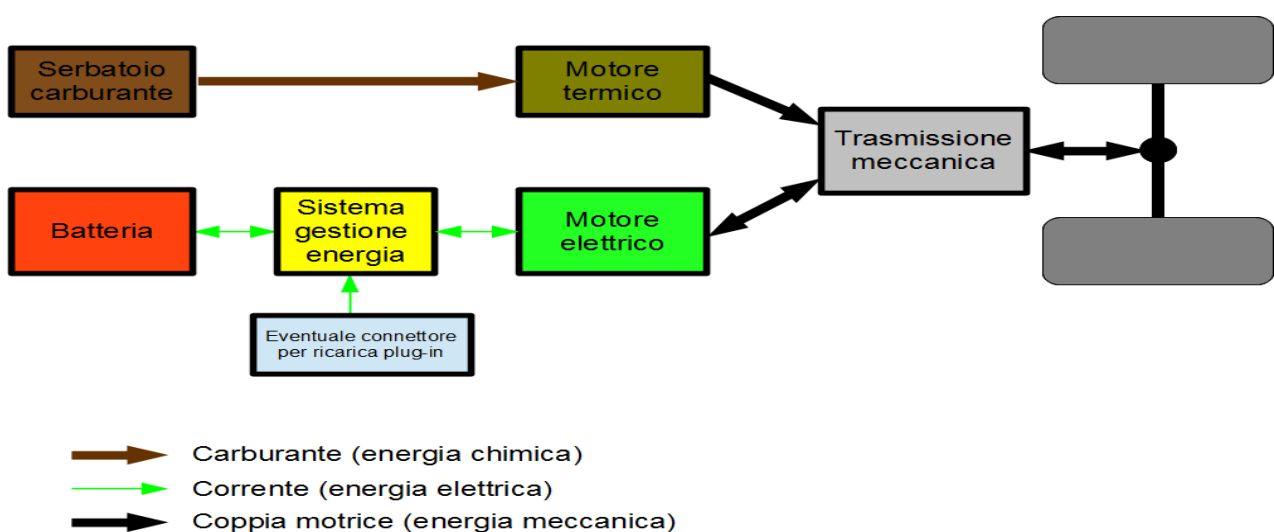
Invece in un’ibrida in serie si possono creare le condizioni per ottimizzare il funzionamento del motore termico, perché questo deve solo produrre energia elettrica nel modo più efficiente possibile. Sarà poi il motore elettrico a variare il proprio regime di funzionamento per adeguarlo alle necessità della guida. Nello schema ibrido serie, l’intera sezione elettrica del powertrain, venendo a trovarsi fra il motore termico e le ruote motrici, può essere considerata alla stregua di una trasmissione elettrica (generatore, batteria, motore elettrico) che fa le veci della tradizionale trasmissione meccanica (cambio di velocità, frizione), quindi si avrebbe una notevole riduzione della complessità del sistema di trasmissione, che in alcuni casi potrebbe essere addirittura tolto. Inoltre, grazie alla possibilità di far lavorare il motore termico costantemente nelle migliori condizioni, e grazie alle ottime prestazioni del motore elettrico nello spunto e ai bassi regimi, si può evitare di sovradimensionare il motore termico: è la regola, nelle termiche, che il motore

inutilmente consenta velocità ben superiori al massimo consentito su autostrada (quindi un assurdo spreco, assumendo che i limiti vengano rispettati), perché lo si è dovuto dimensionare in funzione delle prestazioni nello scatto e in ripresa.

Se la vettura può esistere sia in versione puramente elettrica (plug-in come unica fonte di approvvigionamento dell'energia accumulata a bordo) sia in versione ibrida serie (non necessariamente plug-in in quanto grazie al motore termico è autonoma). Questa seconda variante viene considerata un'evoluzione di una elettrica pura in grado di assicurare un'autonomia più estesa rispetto alle sole batterie, e viene infatti chiamata "elettrica con range **extender**" anziché "ibrida serie". Queste hanno una batteria molto più capace di quella delle ibride e delle plug-in, mentre la capacità del loro serbatoio è minima, in quanto la loro vocazione è fondamentalemente di elettriche e l'extender serve solo per mitigare, se occorre, i due problemi delle elettriche: autonomia e rapidità di rifornimento.

Il primo problema sta venendo un po' risolto per tutte le auto elettriche, grazie agli sviluppi dal punto di vista tecnologico e dei materiali utilizzati (Litio su tutti). Il secondo viene risolto proprio dall'extender, poiché aumentando la capacità delle batterie, aumenteranno con essa i tempi di ricarica. Viene permesso di ricaricare la batteria in tempi ristretti, evitando così di lasciar ferma la macchina anche per più di mezza giornata.

5.2.2 Ibrido parallelo.



L'auto con schema ibrido parallelo "puro" è una soluzione abbastanza diffusa fra i modelli ibridi oggi sul mercato. La sua caratteristica fondamentale è quella di prevedere una via

meccanica diretta fra i motori (sia l'elettrico, sia il termico) e le ruote. **I due motori collaborano**, lavorando in parallelo (da qui il nome), all'applicazione meccanica diretta di coppia motrice alle ruote, come due ciclisti che pedalano insieme su un tandem. In più è possibile il recupero di energia in frenata, attuato sfruttando all'inverso il collegamento meccanico fra motore elettrico e ruote. Normalmente il motore termico è più potente del motore elettrico, e l'autonomia consentita dal carburante nel serbatoio è invariabilmente molto maggiore di quella consentita dall'energia immagazzinata nella batteria (la cui capacità è sempre maggiore nei modelli plug-in). Le ibride parallele usano tipicamente il motore elettrico non per sostituire il motore termico, ma piuttosto per compensare le mancanze tipiche del motore termico, che sono lo spunto a basso regime e il recupero di energia in frenata.

Per partire da fermo occorre mandarlo in coppia e usare una frizione o dispositivo equivalente per rendere graduale la costituzione della catena cinematica e l'accoppiamento con le ruote, consentendo al motore di raggiungere e mantenere un regime sufficientemente alto per erogare la coppia necessaria finché le ruote non abbiano preso a girare a velocità sufficiente per poter rilasciare la frizione senza contraccolpi né spegnimenti. Per avere buone prestazioni da fermo nelle auto termiche si è costretti a dimensionare il motore termico per avere la quantità desiderata di coppia e potenza, al punto che poi lo stesso motore risulta perfino eccessivo in termini di velocità massima raggiungibile.

Infine, i motori termici, specie i Diesel, sono sempre più spesso sovralimentati con turbocompressore e questo, per quanto miniaturizzato e con turbina a geometria variabile, ha sempre una certa inerzia nel salire di giri prima di riuscire a creare la pressione necessaria. Il motore elettrico è il partner perfetto del motore termico, con caratteristiche esattamente complementari: ha una risposta istantanea, senza latenze, e ha (idealmente) la coppia massima a 0 giri o comunque già a bassissimo regime.

Nelle partenze può quindi essere di valido aiuto allo spunto: lo si potrebbe quasi considerare il suo campo d'impiego ideale. Un motore elettrico anche relativamente piccolo può fornire una buona spinta e integrare quella fornita dal motore termico, fin

quando il regime di rotazione e le condizioni generali non consentano a quest'ultimo di esprimersi pienamente. Questo significa anche che non è più così necessario sovradimensionare il motore termico per ottenere buone prestazioni a basso regime e sullo spunto. Diventa così possibile un certo downsizing che porta con sé anche riduzioni di peso, attriti e consumi.

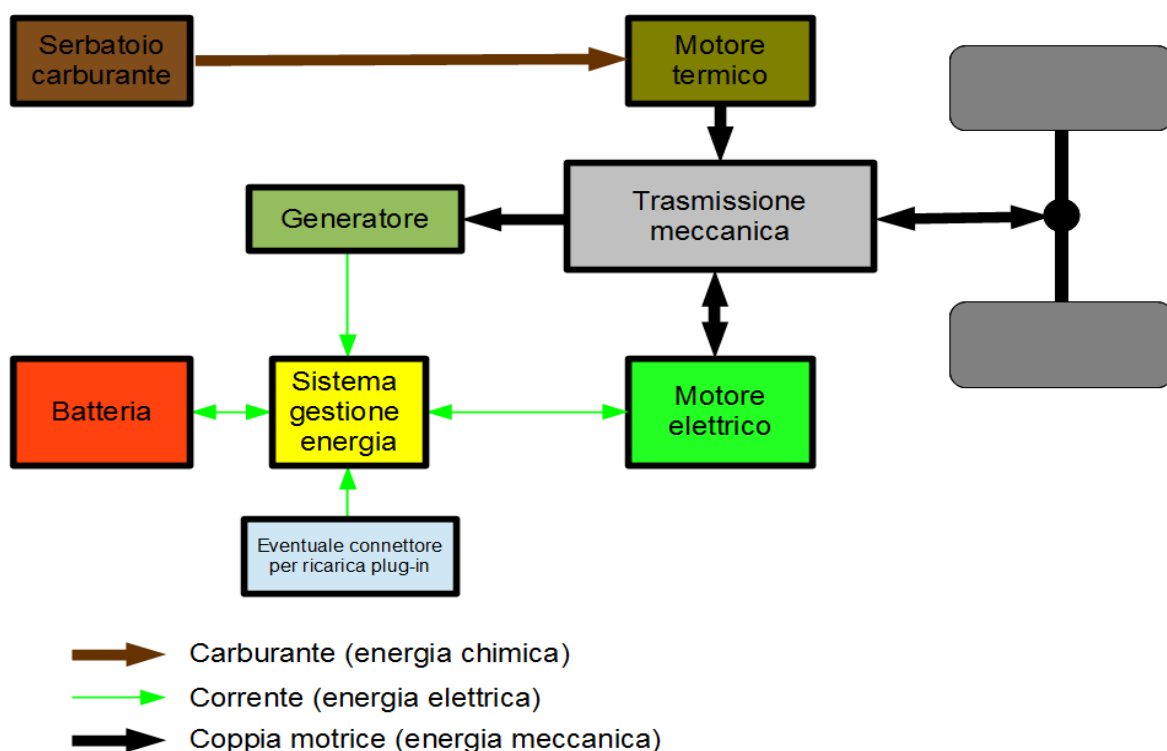
Per quanto riguarda invece il **recupero energia** in frenata, impossibile per un motore termico (macchina non reversibile), è invece una funzionalità del tutto naturale per un motore elettrico, che è anche in grado di funzionare da generatore di corrente. Inoltre, l'energia recuperata, immagazzinata in una batteria di bordo, sarà poi usata per alimentare lo stesso motore elettrico nelle fasi in cui lo si usa per "dare una mano" al motore termico. Quindi una quota di coppia motrice complessiva proverrà non dalla combustione di carburante nel motore termico, ma dal riuso di energia (altrimenti sprecata) recuperata in frenata. Questo significa naturalmente minori consumi.

Poiché in una ibrida parallela il motore termico ha un collegamento meccanico diretto con le ruote, anch'essa, come le normali auto termiche, ha bisogno di un cambio di velocità (eventualmente automatico) e di una frizione o dispositivo equivalente, mentre come abbiam visto, le ibride in serie possono farne a meno. In alcune soluzioni costruttive, il cambio potrebbe non esser presente, si riduce la catena cinematica e le relative perdite, ma viene richiesto un motore termico con ampio intervallo di regimi di funzionamento, perdendo elasticità operativa, per esempio si aumenta la difficoltà nell'affrontare le salite marcate e/o prolungate e le alte velocità, relegando la soluzione per soli veicoli ad uso cittadino come accade spesso per gli ibridi serie.

Generalmente è proprio a ridosso di (oppure fra) cambio e frizione che viene inserito il motore elettrico. Ci sono però anche varianti originali, come quella della "Citroen DS5 Hybrid 4", in cui il motore elettrico e quello termico collaborano sì in parallelo alla fornitura diretta di energia meccanica di trazione, solo che il motore termico agisce sulle ruote anteriori mentre quello elettrico agisce su quelle posteriori. In questo ingegnoso schema il veicolo diventa un 4x4. Altra particolarità della DS5 Hybrid è di avere il motore termico a ciclo Diesel anziché a ciclo Otto.

Il motore termico, rispetto a quello elettrico è predominante oppure paritario. Nel primo caso, si avrà un'autonomia limitata e la presenza del secondo sarà unicamente per ridurre i consumi (batteria da massimo 1kWh). Nel secondo caso invece, aumentando le dimensioni del motore elettrico e delle batterie, si ottiene un equilibrio tra i due motori, permettendo così di raggiungere maggiori prestazioni (batterie fino a circa 9kWh). Tuttavia, nel secondo caso, in virtù del fatto che ci sia un'architettura propulsiva, il motore elettrico non ha un ruolo marginale relegato alle partenze e al recupero di energia in frenata, ma contribuisce a fornire coppia e potenza in modo sostanzialmente paritetico rispetto al motore termico. Avere la batteria scarica significa dunque assistere ad un calo di prestazioni per mancanza di "collaborazione" da parte del motore elettrico (nelle termiche invece le prestazioni sono le stesse, a serbatoio pieno come in riserva).

5.2.3 Ibrido misto.



Gli accoppiamenti vengono realizzati tramite un **rotismo epicicloidale** e un **riduttore**. Risulta essere il più diffuso, coniugando, come suggerisce il nome, le peculiarità dello schema serie con quelle dello schema parallelo, e consente di avvantaggiarsi dei vantaggi dell'uno o dell'altro, oltretutto con la possibilità di passare da una logica all'altra in frazioni di secondo (aprire o chiudere una frizione) se non addirittura istantaneamente (risposta

asimmetrica di rotismi epicicloidali; apertura o chiusura di circuiti elettrici). Dallo schema “serie” lo schema misto eredita la possibilità di usare il motore termico solo per generare corrente da destinare alla ricarica della batteria o all'alimentazione del motore elettrico, lasciando a quest'ultimo il compito di azionare le ruote. Dallo schema “parallelo” eredita invece la possibilità di far lavorare in tandem per la trazione il motore termico e quello elettrico, realizzando per entrambi una catena cinematica diretta verso le ruote. Da **entrambi** gli schemi infine si eredita la possibilità di recuperare energia in frenata per ricaricare la batteria riducendo così la necessità di attingere all'energia primaria (carburante) nelle occasioni in cui servirà coppia per la trazione (ripartenze, ripresa, mantenimento della velocità di crociera).

Tutta questa flessibilità di comportamento e di gestione è consentita da un notevole aumento di complessità degli accoppiamenti meccanici tra il motore termico e la sezione elettrica.

Possiamo avere una **moltitudine di scenari di funzionamento**:

Incanalare la coppia erogata dal motore termico direttamente verso le ruote; incanalare la coppia del motore termico solamente verso un generatore di corrente, per ricaricare la batteria; incanalare la coppia del motore termico solamente verso un generatore di corrente col quale principalmente azionare il motore elettrico, se la batteria è già sufficientemente carica; combinare queste due ultime operazioni; scollegare completamente il motore termico da tutti i carichi a valle per poterlo spegnere del tutto e interrompere il consumo di carburante mentre alla propulsione provvede il motore elettrico, in pratica ci si trova in una condizione a zero emissioni.

L'elemento fondamentale è la **trasmissione meccanica**, che ha il compito di gestire il collegamento o la separazione cinematica del motore termico dalle ruote, ma anche di dosare i flussi di coppia fra motore termico, generatore e motore elettrico principale. Essa si incarica inoltre di conciliare l'esigenza di ottimizzare e per quanto possibile stabilizzare il regime di rotazione del motore termico con la necessità delle ruote di girare a velocità fortemente variabili in base alle condizioni di guida, cercando al tempo stesso di dare al guidatore una esperienza di guida simile a quella di un'auto con cambio di velocità.

Spesso queste esigenze sono contemperate adottando un rotismo epicicloidale nel quale confluiscono le coppie e le velocità di rotazione delle tre macchine di bordo: il motore termico, il generatore e il motore elettrico principale.

Per adeguare la velocità del motore termico (che si preferisce tenere il più possibile stabile) a quella fortemente variabile delle ruote, invece di usare rapporti discreti o un cambio continuo, si fa variare la velocità di rotazione del generatore, in modo tale che sia lui ad assorbire la differenza di velocità tra ruote, motore termico e motore elettrico.

5.3 Cambio.

A differenza di quanto visto nelle automobili elettriche, che non necessitano di un cambio con una configurazione particolare, le ibride invece non possono farne a meno.

Esso avrà una configurazione più complessa rispetto a quello delle auto totalmente termiche, perché oltre a gestire la potenza, deve essere in grado di garantire una sorta di coordinazione tra i due motori. Solitamente è di tipo automatico, con alcune sottocategorie.

Quello **classico**, ha 6 o 8 marce, rimpiazzando il convertitore con una frizione a comando elettronico (idraulica) che deve essere in grado di scollegare il cambio stesso e il motore termico quando l'auto viaggia in modalità solo elettrica. Sfruttano questo cambio, i modelli Peugeot Hybrid e Ds7 E-Tense.

Si ha poi un cambio a **doppia frizione**, applicando il principio del cambio "scollegabile" sulle ibride Mercedes Classe A 250 e (presto anche su Classe B) e la Hyundai Kona Hybrid. I cambi in questione sono a 6 rapporti sulla ibrida coreana e 8 rapporti per quella tedesca. Si trovano anche specifiche varianti dotate di una terza frizione che serve a scollegare il gruppo motore-cambio dal resto della trasmissione, sulla quale è montato il motore elettrico.

Infine, è bene citare il **cambio robotizzato** a soli quattro rapporti ma con la particolarità di essere totalmente privo di frizioni, perché allo spunto e a bassa velocità provvede il motore elettrico, mentre quando interviene quello a benzina, l'elettrico stesso fa da

“sincronizzatore” permettendo che vengano innestate le marce senza scollegare la trasmissione. Verrà montato sulle Renault Clio e Captur.

5.4 Lubrificazione.

Bisogna premettere che i motori elettrici e le batterie sono meno potenti rispetto alle elettriche pure. La presenza di un powertrain convenzionale non deve ingannare, dato che le sue esigenze manutentive possono essere diverse rispetto a quelle di gruppi convenzionali. Sappiamo che i sistemi per lo Start & Stop implicano batterie e sensori speciali e che i continui avviamenti del motore producono stress a motorino, batteria e al motore stesso. Nei veicoli ibridi queste difficoltà si moltiplicano perché il motore a scoppio può spegnersi e riaccendersi anche a vettura in movimento. Data la presenza anche di un motore elettrico, quello a combustione sarà di cilindrata minore e questo, porterà a ‘spremerlo’ di più. Nell’uso cittadino, inoltre, il motore termico rischia di lavorare a basse temperature, proprio perché funziona in maniera molto discontinua, e questo limita l’efficacia degli additivi detergenti e antiossidanti dell’olio. Il tutto va inquadrato nell’uso di oli a bassa viscosità, per diminuire gli attriti, e quindi gli utilizzatori dovranno essere molto attenti in fase di manutenzione/riparazione di questi veicoli. Già da ora i produttori di lubrificanti hanno messo a punto fluidi speciali ottimizzati per le auto elettriche e ibride. Esiste anche il fluido per il raffreddamento delle batterie.

5.5 Costi.

Analogamente alle auto elettriche al 100%, anche le auto ibride sono più costose rispetto a quelle tradizionali. Inoltre, considerando viaggi extraurbani (ancora non sostenibili efficientemente dalle ibride) più lunghi rispetto all’autonomia ancora limitata del motore elettrico, si andrebbe a consumare (e quindi spendere) di più rispetto ad una macchina tradizionale. Questo perché oltre al normale consumo di benzina, si aggiunge una quota supplementare dovuta al peso aggiuntivo del motore elettrico, che non è trascurabile.

5.6 Macchina ibrida vs. auto elettrica.

Questi due tipi differenti di elettrificazione si differenziano molto dal punto di vista pratico. Molte vetture ibride, avendo come fonte di energia principale la benzina o il gasolio, permettono di non farsi troppi problemi dal punto di vista dell'autonomia, uno dei principali talloni d'Achille delle vetture 100% elettriche. A differenza delle auto ibride, che inquinano poco ma non sono del tutto "green", quelle alimentate da powertrain completamente elettrici hanno un impatto ambientale uguale a zero non solo dal punto di vista delle emissioni, ma anche per quanto riguarda l'inquinamento acustico. A questo proposito, per rendere più sicure la circolazione di queste vetture, è stato introdotto l'obbligo per i costruttori di dotare le auto elettriche di sintetizzatori di suono per avvisare i pedoni del loro arrivo. Le emissioni sonore del motore ibrido sono decisamente più basse di quello tradizionale. Ciò non intacca tuttavia il livello delle prestazioni dell'automobile dal punto di vista della velocità e della potenza.

Un altro punto di forza del motore ibrido è rappresentato dalla guida metropolitana, poiché è perfetto per le continue accelerazioni e partenze ai semafori, ben adattandosi agli spostamenti brevi all'interno del traffico cittadino. La **manutenzione** di una vettura ibrida può essere paragonata a quella di una vettura ad alimentazione tradizionale, anche se può comportare un grosso esborso sui motori elettrici, più avanzati tecnologicamente.

6 CONFIGURAZIONI.

6.1 Costruzione.

Costruire le auto elettriche implica la scelta fra **due possibilità** diverse: usare piattaforme flessibili che permettono di usare powertrain diversi o puntare solo sulla trazione elettrica. Produrre auto ibride può essere meno complicato perché si conserva un powertrain convenzionale, anche se c'è un aumento della complessità strutturale. La versione a batteria implica invece cambiamenti radicali nella componentistica e nel progetto dell'automobile.

La costruzione di un'auto elettrica prevede un motore molto più compatto e anche la pur sviluppata elettronica non è ingombrante quanto una meccanica classica. Vengono anche limitati gli sbalzi e le zone di assorbimento degli urti.

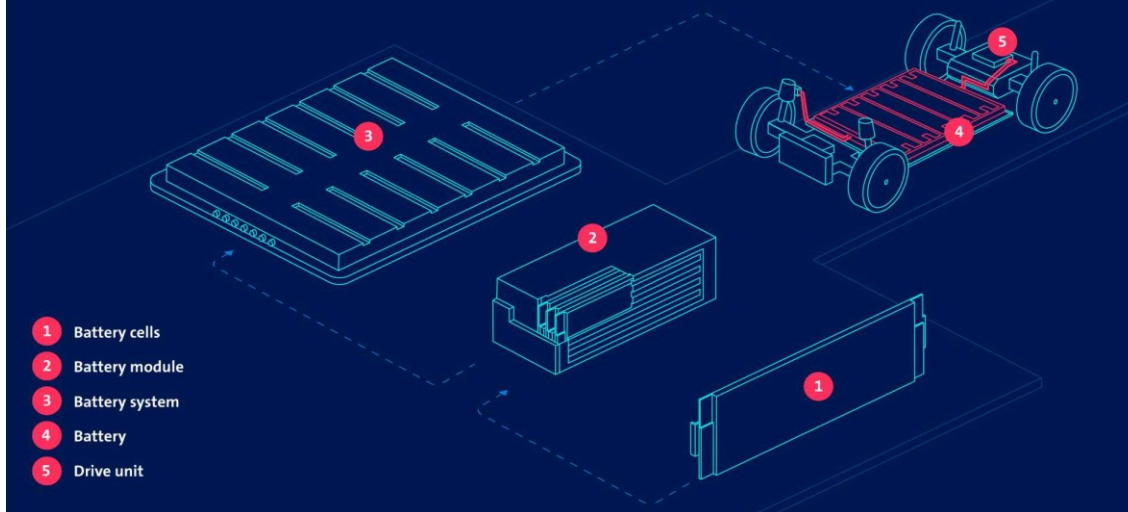
6.2.1 Pianale e batteria.

La parte più costosa e più complicata da sistemare è in effetti proprio la batteria. I due modi diversi di costruire un'auto elettrica infatti differiscono principalmente per la sistemazione del pacco batteria. Tesla può essere considerata l'ideatrice della **soluzione skateboard**, con la batteria sottile e larga sistemata fra i due assali, un progetto partito da zero, dal cosiddetto foglio bianco.

Nel modello **Volkswagen ID**, ad esempio, la batteria sarà posizionata nel pianale, occupando meno spazio ed abbassando il baricentro della macchina. Questo significherà una miglior distribuzione dei pesi. La piattaforma in questione viene denominata **MEB** e nasce per le automobili puramente elettriche. Lo schema progettuale risulta così ordinato: sul pianale poggia il pacco batterie, mentre l'asse posteriore ospita motore e cambio e sull'asse anteriore si trovano gli elementi per la ricarica.

Electric-platform battery system

MEB – The modular electric drive matrix



Sono disponibili 3 diversi tagli di batteria per ora, con tre relative autonomie: 45 kWh (330 km), 58 kWh (420 km) e il più grande 77 kWh con autonomia da 550 km (tutti omologati secondo gli standard WLTP). Quest'ultimo monta 12 moduli, ognuno dei quali è composto a sua volta da 24 celle (gli elementi più piccoli di una batteria per auto) agli ioni di litio. Ha un funzionamento a 408 Volt e può ricaricarsi anche in corrente continua, fino a 125 kW. La batteria adotta un sistema di raffreddamento a liquido per una gestione ottimale delle temperature ed è ospitata all'interno di un alloggiamento in alluminio che ha anche un telaio integrato in grado di assorbire gli urti in caso d'incidente per mantenere l'integrità della componentistica posta all'interno.

I moduli sono disposti in parallelo, quindi in base a quanti se ne metteranno, si avranno batterie con diverse capacità. Risulta molto funzionale per produrre auto di diversa grandezza, per il fatto che sarà sufficiente variare il numero dei moduli del pacco batteria per variare anche la lunghezza della vettura stessa. Ad oggi però, non è possibile ancora modificare il numero di moduli dopo l'acquisto, ma solo nella fase di progettazione. Viene garantita anche grande libertà per quanto riguarda lo sviluppo della carrozzeria.

Nel caso della batteria a 58kWh, sarà possibile erogare una coppia massima di 310 Nm e una potenza massima di 150 kW, per una velocità dichiarata di 160 km/h.

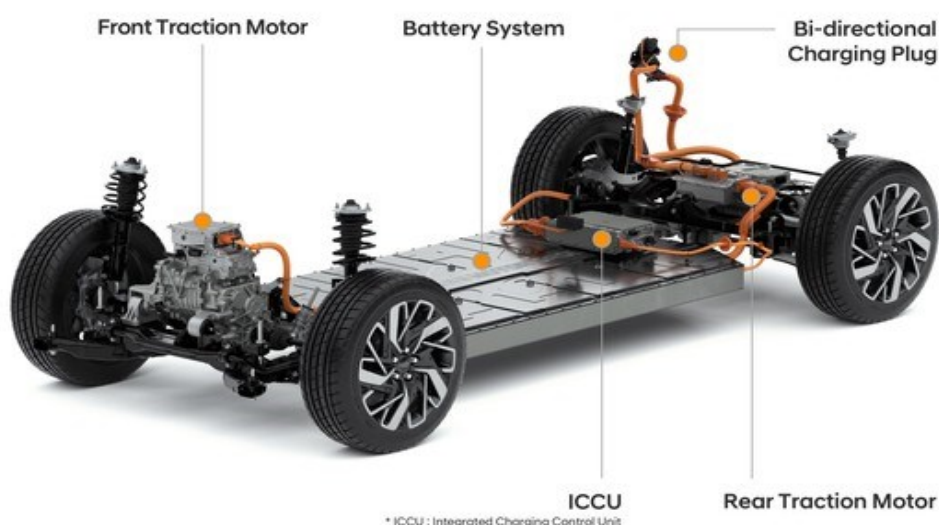
Anche **Ford** prevede di utilizzare questa soluzione, questo fa capire come questa sia molto valida.

La **BMW** è più “neutra”, sta creando una piattaforma flessibile capace di supportare tutti i tipi di motorizzazione.

General Motors ha in mente 19 configurazioni diverse di modelli di auto elettrica, con batterie da 50 e 200 kWh di capacità, prevedendo di utilizzare la stessa tecnologia di produzione su tanti modelli differenti. La cosa interessante delle batterie “Ultium” sarà la loro flessibilità: il pacco batterie sarà composto da molti meno componenti, pochissimi cablaggi e questo consentirà di avere un costo più basso.

Nella **Tesla Model 3**, l'utilitaria della medesima casa, si avrà una batteria da 75kWh, che si può ricaricare nei Supercharger in mezz'ora, garantendo un'autonomia di 270km. Le batterie son sotto il pianale, lasciando anche in questo caso spazio per la carrozzeria. Nel modello Long Range (sempre della Tesla) si avrà nel 2021 una batteria da 82kWh, con un aumento della densità di energia del 5% e di potenza del 10. In entrambi i casi vengono utilizzate celle del formato 2170, con diametro di 21mm e lunghezza di 70, più grandi rispetto a quelle tradizionali, le 18650 ed è anche per questo che si ha una densità energetica maggiore.

Tra i gruppi che ricercano nuove soluzioni si trova anche **Hyundai**, che insieme a **Kia**, monteranno la nuova piattaforma **E-GMP** (Global Modular Platform), capace di garantire grande stabilità alle alte velocità.



C'è un'ottimale distribuzione del peso tra anteriore e posteriore, il baricentro basso grazie al posizionamento del pacco batteria. Per garantire grande libertà alla progettazione del resto della macchina, esso viene montato sotto il pianale, opportunamente protetto da una struttura di rivestimento che serve a ridurre eventuali danni causati da urti e impatti. Basicamente la trazione è posteriore, ma c'è la possibilità di averla integrale montando un secondo motore. Per migliorare comfort e tenuta di strada, la piattaforma ha sospensioni posteriori a cinque bracci (link) e del primo "Integrated Drive Axle" (IDA), che serve a combinare in un'unica soluzione cuscinetti, ruote e albero di trasmissione per fornire potenza alle ruote. È presente anche l'Integrated Charging Control Unit (ICCU), evoluzione degli attuali On-Board Charger (OBC) che permette alle auto di fornire corrente per altre apparecchiature elettriche (110/220V) in qualsiasi luogo. Ha un funzionamento a 800 Volt, si può ricaricare sino ad una potenza di 350 kW. Un veicolo elettrico basato sulla E-GMP è capace di un'autonomia di oltre 500 km, secondo lo standard WLTP. Inoltre, cosa molto importante, sarà possibile la ricarica a 400 V senza la necessità di componenti aggiuntive o adattatori di ogni tipo.

Un altro tipo di piattaforma in arrivo nel 2023 sarà quella e-VMP, progettata da PSA, in sostanza il gruppo **Peugeot**, con densità energetica di 50 kWh per metro, che permetterà almeno in una fase iniziale di ospitare dei pacchetti tra i 60 e i 100 kWh di capacità. La configurazione è tradizionale, con la batteria posizionata tra i due assi e il motore in posizione anteriore, con la possibilità di integrare anche un motore posteriore per le varianti a trazione integrale. L'autonomia, secondo il ciclo WLTP, varierà da un minimo di 400 km nelle versioni di accesso ad un massimo di 650 km. Verrà utilizzata prevalentemente per veicoli 100% elettrici, ma si avranno anche varianti per auto ibride.

Si presume che possa avere dei costi contenuti per il fatto di utilizzare sottogruppi di elementi già assemblati già esistenti.

Il fatto che la creazione di un'automobile elettrica parta dalla batteria, fa sì che venga allungato il passo, sia per necessità, che per convenienza.

6.2.2 Aerodinamica.

Un altro fattore che influenza in modo importante lo sviluppo dei nuovi modelli è l'aerodinamica. Avere una bassa resistenza all'avanzamento, un basso Cx, è fondamentale per risparmiare energia, in particolar modo per vetture che devono cercare di ottimizzare autonomie non elevatissime. Inoltre, la propulsione elettrica genera un grande calore che va dissipato bene con l'aiuto di flussi d'aria il più efficacemente possibile. Potrebbero quindi presto sparire le grandi griglie frontali oggi utili per il raffreddamento dei motori, rimpiazzate da condotti e feritoie più discrete ma dalle funzioni altrettanto importanti.

Bisogna ottimizzare l'efficienza in ogni area, in ogni singolo aspetto. Va tenuto a mente che l'energia spesa per vincere la resistenza dell'aria non può essere recuperata, come accade per esempio sulle autostrade, dove bisogna garantire una buona autonomia, anche andando a velocità costanti ed elevate. Da velocità superiori ai 70 km/h la resistenza al rotolamento degli pneumatici e l'inerzia diventano secondarie rispetto all'aerodinamica, a prescindere dalla tipologia di veicolo.

Volkswagen ha progettato specchietti retrovisori virtuali che sono meno ingombranti rispetto a quelli tradizionali dal punto di vista aerodinamico, garantendo incrementi dal punto di vista dell'autonomia di circa 2,5 km che potrebbe sembrare poco ma non è assolutamente da trascurare dato che l'autonomia è sempre stata il punto debole delle auto elettriche.

6.2.3 Sistemi di controllo.

I sistemi di controllo risultano cruciali per il funzionamento corretto delle macchine elettriche. Essi devono garantire una qualità di guida ottimale e pertanto sono sistemi molto sofisticati, in grado di fornire sufficiente potenza, valutare l'energia presente. Gli algoritmi utilizzati stanno subendo grandi miglioramenti e upgrades, per il fatto che il mercato delle automobili elettriche è in grande ascesa. Inoltre, la loro applicazione su questo tipo di auto è facilitata, poiché essi sono già fortemente diffusi su quelle tradizionali.

6.2.4 Auto elettriche senza batteria.

Sebbene sembri un paradosso, ci sono degli studi e delle analisi a riguardo. Il più interessante di essi è quello effettuato nel 2018 da una squadra di studiosi svedesi, coordinata da Leif Asp presso la Chalmers University of Technology, finalizzato all'impiego delle **fibre di carbonio** nei sistemi di accumulo elettrochimico. In sintesi, le batterie verrebbero rimpiazzate da fibre di carbonio distribuite su tutta la carrozzeria, permettendo così di eliminare uno dei principali problemi delle auto elettriche, quello relativo al peso della batteria, che ha un grande impatto su quello totale. Le suddette fibre sono state analizzate nella loro microstruttura (disposizione e dimensione dei cristalli di carbonio) per fare in modo di garantire un compromesso tra capacità elettrochimica e robustezza (definita "leggermente superiore all'acciaio"). Come logica conseguenza alla riduzione del peso del veicolo si avrebbero una riduzione dei costi ed una maggiore autonomia su strada.

Un altro esperimento interessante è stato svolto da alcuni ricercatori dell'università di Toyohashi, in Giappone, che hanno lavorato su un'automobile elettrica capace di percorrere brevi tratti di strada pur non avendo batterie al suo interno. La vettura funziona grazie a degli speciali pneumatici, che assorbono energia dall'asfalto ed alimentano il motore a zero emissioni. Sono ancora molte le problematiche da risolvere in quanto si è ancora in fase sperimentale, legate soprattutto al trasferimento dell'energia: ad oggi l'automobile è stata testata su 30 metri di una strada elettrificata e non ha superato i 10 km/h.

L'operazione è stata coordinata dal professor Takashi Ohira, responsabile del dipartimento in cui si sviluppano le automobili del futuro, che ha basato le proprie idee sul principio della ricarica induttiva (wireless): in questo modo le batterie si caricano grazie alla presenza di campi elettromagnetici. Insieme agli studenti sono state inserite due piastre al di sotto del manto stradale e speciali fili di metallo negli pneumatici, capaci di assorbire energia anche quando è in movimento. Una soluzione di questo tipo implica tuttavia diverse considerazioni, legate alla potenza della corrente e al campo magnetico che verrebbe prodotto da una strada elettrificata, tuttavia può fornire enormi benefici alle

automobili elettriche, destinate a veder risolti in un colpo solo problemi legati al peso (grazie all'assenza delle batterie) ed all'autonomia. La più grossa incognita riguarda come rendere elettrificate le strade; un'operazione che porta con sé costi enormi e tempistiche che paiono molto lunghe.

Entrambi gli studi sono molto interessanti perché comporterebbero sviluppi eccezionali, tuttavia sono ancora in fase sperimentale e difficilmente avranno interesse applicativo in tempi brevi.

6.3 Problematiche.

Se ne possono avere di differenti tipologie, dal punto di vista meccanico ed elettrico, ma anche quello che riguarda gli elementi ausiliari alla mobilità elettrica.

Le auto elettriche possono avere diversi tipi di problemi, ad esempio, relativi al sistema elettrico di trasmissione, oppure ai cuscinetti sul motore elettrico. Si sono riscontrati problemi relativi all'assemblaggio, dove addirittura non si riusciva a chiudere perfettamente le portiere della macchina.

Ad oggi, si cerca di "velocizzare" il processo produttivo, tuttavia questo comporta dei rischi, dovuti all'introduzione di nuovi sistemi, come nuove piattaforme, nuovi tipi di trasmissioni, nuovi sistemi di controllo. Questo può causare dei malfunzionamenti dovuti alle novità introdotte e non testate su larga scala. E come spesso accade quando si riscontrano dei bug nei computer, bisognerà trovare delle soluzioni per risolverli.

Anche le **ruote** devono possedere certe caratteristiche per poter garantire all'auto efficienza, stabilità e tenuta su strada, pur facendo in modo che il veicolo sia silenzioso. Gli pneumatici dovranno essere resistenti il giusto per sopportare la coppia impressa dal motore, tuttavia non dovranno avere una tenuta eccessivamente alta, poiché altrimenti si esaurirebbe troppo velocemente la carica della batteria. Da non trascurare è la resistenza al rotolamento, cioè la tendenza dello pneumatico a deformarsi: se si deformasse troppo, vorrebbe dire consumare energia eccessiva per il moto dell'auto. Se invece, dovesse essere molto bassa, si avrà una tenuta di strada peggiore. Come spesso accade quando si trovano

pregi e difetti aumentando o abbassando troppo determinate caratteristiche, occorrerà trovare un compromesso.

È stato parzialmente detto precedentemente che le batterie risultano essere molto pesanti, risultando determinanti nel valore totale che caratterizza le autovetture elettriche. Confrontando i dati relativi al peso delle auto elettriche (o ibride) con delle loro controparti equivalenti tradizionali, risultano più pesanti di circa un centinaio di chilogrammi; la Renault Zoe (lunghezza 408 cm) pesa 1.480 Kg con la batteria più grossa, mentre Clio (406 cm) diesel di pari potenza pesa 1.235 Kg, quella a benzina 1.165 Kg. La Smart EQ Fortwo (274 cm) pesa 1.085 Kg, quella a benzina d'ingresso (15 cavalli in più) pesa 890 Kg. Queste differenze di peso influenzeranno la durata della batteria, riducendo l'autonomia. Occorrerà quindi cercare di inserire nel processo produttivo (sia per le batterie, per la carrozzeria e per gli organi ausiliari) dei materiali che possano garantire una replica delle caratteristiche meccaniche e strutturali, ma che allo stesso tempo possano rendere il veicolo più leggero.

Da non trascurare la gestione delle **temperature**, calde o fredde che esse siano, perché vanno ad influenzare l'efficienza dei motori e delle batterie. Da una parte, temperature eccessivamente alte possono danneggiare l'integrità dei suddetti elementi ed occorre un sistema di raffreddamento adeguato. Dall'altra invece, quella che riguarda gli effetti delle basse temperature, è stato eseguito uno studio, nel gennaio 2020, molto interessante dalla federazione automobilistica norvegese che ha provato diversi modelli in condizioni climatiche invernali, a -2°, ottenendo come risultato una diminuzione media dei chilometri percorribili (rispetto a quelli dichiarati in condizioni standard) di circa il 18% ed un aumento dei tempi di ricarica.

Per quanto riguarda invece il sistema nella sua globalità, è impossibile non citare le difficoltà che si incontrano nel garantire sufficienti colonnine di ricarica per tutti, soprattutto in quei paesi dove il processo di diffusione di questo tipo di veicoli non è molto avanzato. Precedentemente è stato detto che gli stati stanno lavorando a decreti che possano favorire la creazione di questi spazi adibiti alla ricarica.

Sempre in questo campo si teme per l'integrità del sistema elettrico una volta che le auto elettriche avranno fatto breccia nella società, in quanto immaginare tantissime auto tutte messe a caricare la notte, fa pensare che (allo stato attuale) si possa incorrere in continui sovraccarichi e blackout. Occorrerà dunque pianificare un potenziamento del sistema di produzione elettrica, anche se è un problema che verrà posto molto avanti nel tempo.

Una ulteriore problematica riguarda la catena produttiva delle elettriche, in quanto ad ora, non è possibile produrle sfruttando totalmente (o almeno in grossa parte) fattori non inquinanti; tuttavia, ci sono dei falsi miti, delle fake-news a riguardo. Ad esempio, ci sono molti denigratori che asseriscono che le auto elettriche funzionino col 95% dell'energia prodotta dal carbone. Tesi falsa e smontata da Gianni Catalfamo, che ricercando dati ha dimostrato che il paese che sfrutta di più il carbone per produrre energia elettrica, lo sfrutta per il 90%, mentre gli altri sono ad un livello di utilizzo molto inferiore.

7 CONCLUSIONI

La ricerca è stata realizzata navigando sul web, in quanto a causa della pandemia non c'è stata possibilità di eseguire ricerche di altro tipo, magari riguardanti alcuni aspetti pratici, ma comunque si sarebbero rese necessarie delle integrazioni di nozioni sempre via internet.

Dal lavoro effettuato, ho potuto constatare come sono costruite le auto elettriche, osservando alcune differenze rispetto alle auto endotermiche. Mi sono chiesto quali fossero gli elementi che principalmente vengono cambiati, tolti o aggiunti e come questo vada ad incidere sulla creazione e sullo sviluppo di nuove tecnologie; si è potuto osservare che è un'industria in forte sviluppo, poiché molti elementi caratteristici dei veicoli elettrici sono perfezionabili come ad esempio la batteria, che si evolverà ulteriormente grazie agli studi effettuati su quelle allo stato solido, oppure i pianali, costruiti per abbassare il baricentro delle vetture e fare in modo che le batterie stesse siano meno ingombranti, rendendole così più facile da progettare.

Come è stato evidenziato, l'autonomia dei veicoli elettrici, che per anni ha rappresentato un fattore limitante, sta facendo (e farà) grandi passi in avanti grazie a continui studi, dettati da miglioramenti applicati oltre che al pacco batterie, all'utilizzo di materiali diversi ma pur sempre funzionali. Tutto ciò non può far altro che incrementare le prestazioni delle auto, rendendole più appetibili sul mercato. Ho potuto constatare che anche elementi che consideravo "intoccabili" come cambio e freni, si devono necessariamente adattare alle nuove esigenze dettate da questa tipologia di trazione.

Seppur breve, il confronto fatto tra auto ibride e 100% elettriche ha evidenziato come le prime si prestino meglio ad una guida cittadina, con molte interruzioni, mentre le seconde rendono meglio su tratti di strada più lunghi.

Ho appurato che circolano fake-news di ogni genere su questo argomento, non ho tuttavia ritenuto opportuno dedicarci un'analisi troppo approfondita (ne ho giusto citata una) perché la colpa non è di chi produce automobili, ma di chi inventa questi falsi miti.

Una delle cose che mi ha più sorpreso e divertito è stato sicuramente leggere la possibilità che alcune auto potranno essere prodotte senza batteria. Non lo credevo possibile, vista la relativa giovinezza della tecnologia attuale presente sui sistemi di trazione che potesse essere già presente questa alternativa, seppur in fase totalmente embrionale, con delle prove alle spalle.

In base a quanto visto, ritengo che le auto elettriche possano veramente rappresentare una svolta per il futuro, in quanto se si riuscisse a radicarle nella società in maniera più profonda rispetto ad oggi, si potrebbero trarre svariati benefici per l'umanità e per il pianeta, come ad esempio ridurre drasticamente il livello delle emissioni di agenti inquinanti ed evitare che i combustibili fossili si esauriscano in tempi brevi.

Sono molto curioso di rileggere questa tesi tra qualche anno e vedere cosa si sarà fatto per migliorare le auto sia nella parte componentistica che per la loro diffusione su scala globale.

8 FONTI BIBLIOGRAFICHE

- www.alvolante.it;
- <https://www.alvolante.it/news/l-auto-elettrica-senza-batterie-345909> , 22 marzo 2016;
- www.automobile.it;
- <https://www.automobilismo.it/auto-elettriche-come-si-comportano-al-freddo-norvegeset-35376> , 30 marzo 2020;
- www.gazzetta.it/motori;
- www.hdmotori.it;
- www.ilsole24ore.com/motori;
- www.insideevs.it;
- <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2399-7532/aab707/meta> , 28 agosto 2018;
- www.newsauto.it;
- <https://www.newsauto.it/guide/motore-auto-elettrica-2020-251237/> , 22 maggio 2020;
- www.sicurauto.it;
- <https://www.sicurauto.it/ricambi-e-accessori/tecnica-e-manutenzione/la-frenata-a-recupero-denergia-cambia-automobili-e-manutenzione/> , 26 marzo 2019;
- www.quattroruote.it;
- <https://www.vaielettrico.it/catl-byd-sfida-cinese-sulla-batteria-da-un-milione-di-miglia/> , 9 giugno 2020;
- www.volkswagen.it;
- <https://www.hdmotori.it/hyundai/articoli/n530443/hyundai-kia-auto-elettriche-piattaforma-e-gmp/> , 2 dicembre 2020;
- <https://modo.volkswagengroup.it/it/mobotica/auto-elettriche-migliorare-laerodinamica-per-aumentare-lautonomia> , 27/06/2019;

9 RINGRAZIAMENTI

Ci tengo a dedicare un piccolo spazio della tesi a doverosi ringraziamenti a chi mi ha sostenuto durante il mio percorso accademico.

Cito il Relatore per primo, il Professor Palpacelli, paziente ed esaustivo nell'elargire consigli e a condividere le sue conoscenze.

Ringrazio la mia famiglia, sempre pronta ad aiutarmi e a consolarmi nei momenti di sconforto, soprattutto dopo essermi reso conto di aver sbagliato facoltà e successivamente aver interrotto gli studi, per poi riprenderli in questa dopo due anni. Senza di loro non avrei potuto tagliare questo traguardo.

Infine, ringrazio me stesso unicamente perché non mi sono abbattuto alla ripresa degli studi nonostante le molte difficoltà fisiologiche dopo lo stop. Con un piccolo rammarico, quello di non aver scelto sin da subito il percorso di Ingegneria Meccanica.

Grazie a tutti.

Pasquini Enrico