POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di laurea magistrale

La conversione ai veicoli elettrici: Sviluppo sostenibile nella produzione automobilistica

Relatore
Prof.ssa Atzeni Eleonora

Candidato
Cascio Ingurgio Livio

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1 Introduzione 3
2 Proiettati verso l'elettrico: Normative, Incentivi e Panoramica 5
2.1 Normativa di riferimento e promozione dell'elettrico 5
2.2 Panoramica su trend da seguire e su case costruttrici leader del settore 12
3 Le opportunità di un trasporto green 19
3.1 Cenni storici e catalogo produttori 19
3.2 Wallbox e colonnine di ricarica 23
3.3 Vantaggi e svantaggi tecnologici 28
3.4 Sostenibilità ambientale 32
4 Studio sulla configurazione dei veicoli 37
4.1 Architettura veicoli a combustione interna 38
4.2 Architettura veicoli ibridi 40
4.3 Architettura veicoli plug-in ibridi 45
4.4 Architettura veicoli elettrici 46
4.5 Principali differenze costruttive 51
4.6 Scelta dei materiali e gestione del peso 54
5 Riorganizzazione degli stabilimenti produttivi 59
5.1 Tipologie di layout 59
5.2 Analisi processo produttivo veicoli I.C.E 62
5.3 Analisi processo produttivo B.E.V 68
5.4 Soluzioni da adottare 71
6 Conclusioni 73
7 Riferimenti bibliografici 75

Bibliografia Immagini

Figura 2.1 : Andamento storico dei limiti di NO_x nelle normative europee 5
Figura 2.2 : Limiti di emissione Euro V ed Euro VI 7
Figura 2.3 : Comparazione fra le diverse normative mondiali con andamento temporale 8
Figura 2.4 : Cifre stanziate per il piano di ripresa dell'Europa 9
Figura 2.5 : Estratto del D-L convertito con modificazioni dalla L. 13 ottobre 2020, n. 126.. 10
Figura 2.6 : Vendite di ICE, produzione di ICE e pacchi batteria relativi al 2017 12
Figura 2.7 : Andamento del mercato delle batterie al litio secondo BloombergNEF 13
Figura 2.8 : Tesla Gigafactory 1 in Nevada, USA 13
Figura 2.9 : Tesla Model 3 14
Figura 2.10 : Automated Guided Vehicle in moto 15
Figura 2.11 : Stabilimento di Zwickau/Mosel visto dall'alto 16
Figura 2.12 : Robot addetti alla movimentazione nello stabilimento di Zwickau 16
Figura 2.13 : Telaio ID, presentato a Dresden 17
Figura 3.1 : Antenato dell'attuale auto elettrica, progettato da Ányos Jedlik 19
Figura 3.2 : Thomas Parker (al centro nella foto) ed una delle sue vetture elettriche 20
Figura 3.3 : Tesla Model S Long Range Plus 22
Figura 3.4 : Tempi medi di ricarica di una Renault Zoe 23
Figura 3.5 : Easy Wallbox Jeep 24
Figura 3.6 : Colonnina ad elevate prestazioni per la ricarica delle auto elettriche 25
Figura 3.7 : Presenza di stazioni Enel X sul territorio 26
Figura 3.8 : Torretta Enel X con doppio attacco di ricarica 27
Figura 3.9 : Cavo di ricarica di Tipo 2 27
Figura 3.10 : Rendimenti teorici di Ciclo Otto e Diesel 28
Figura 3.11 : Efficienza di un BEV sottoposto a diversi cicli di guida 29
Figura 3.12 : Funzionamento del freno rigenerativo 30
Figura 3.13 : Batteria al litio impiegata nei BEV 32
Figura 3.14 : Diagramma di Ragone 33
Figura 3.15 : Differenza costitutiva fra batterie tradizionali e allo stato solido 34
Figura 3.16 : Componenti principali del Green Deal Europeo 35
Figura 3.17 : Dati Assilea Associazione Italiana Leasing 36
Figura 4.1 : Suddivisione dei veicoli secondo il tipo di alimentazione 37
Figura 4.2 : Struttura interna di un veicolo a combustione interna 38
Figura 4.3 : Struttura interna di un motore termico 39
Figura 4.4 : Powertrain di un veicolo ibrido leggero 40
Figura 4.5 : Struttura interna di un HEV 41
Figura 4.6 : Confronto fra coppia generata da motore elettrico e a combustione 42
Figura 4.7 : Curve caratteristiche di un motore termico 42
Figura 4.8 : Schema di un veicolo ibrido in parallelo 43
Figura 4.9 : Schema di un veicolo ibrido in serie 44
Figura 4.10 : Struttura interna di un PHEV 45
Figura 4.11 : Struttura interna di un veicolo elettrico 46
Figura 4.12 : Sistema di propulsione di una Renault Zoe 47
Figura 4.13 : Unità di controllo elettronica di una Renault Zoe 49
Figura 4.14 : Viste in trasparenza dei componenti di una Jaguar I-Pace 50
Figura 4.15 : Powertrain di un veicolo ICE 51
Figura 4.16 : Powertrain di un BEV 52

Figura 4.17 : Complesso cablaggio della Bentley Bentayga 52
Figura 4.18 : Schematizzazione del sistema di raffreddamento in un BEV 53
Figura 4.19 : Confronto di materiali fra auto di diversa fascia di prezzo 54
Figura 4.20 : Influenza dei materiali sull'evoluzione della Nissan Leaf 55
Figura 4.21 : Componenti integrati di una Audi TT in Acciaio ed Allumino 56
Figura 4.22 : Body In White (BIW) Audi A8 57
Figura 4.23 : Applicazione di materiali polimerici in una Chevrolet 58
Figura 5.1 : Schema layout a punto fisso 59
Figura 5.2 : Schema layout a flusso 60
Figura 5.3 : Schema layout funzionale 60
Figura 5.4 : Schema layout per tecnologia di gruppo 61
Figura 5.5 : Stampaggio a caldo di componenti del veicolo 62
Figura 5.6 : Fase di saldatura nello stabilimento Fiat Pomigliano 63
Figura 5.7 : Reparto di assemblaggio delle portiere laterali 64
Figura 5.8 : Processo di E-Coating 64
Figura 5.9 : Verniciatura di una Ferrari 65
Figura 5.10 : Movimentazione di una vettura in fase di assemblaggio 66
Figura 5.11 : Operazione di Marriage in un veicolo a combustione intera 67
Figura 5.12 : Bobina di alluminio 68
Figura 5.13 : Struttura interna di un pacco batterie 69
Figura 5.14 : Operazione di Marriage in una Tesla 70

Ringraziamenti

Ringrazio tutte le persone a me vicine per il supporto, sia quelli che mi hanno accompagnato lungo questo percorso dall'inizio, sia quelle che lo hanno reso più sereno e gioioso negli ultimi mesi. Spesso studiare al poli ti mette pressioni addosso, ma bisogna non trascurare le altre cose belle della vita, soprattutto gli affetti.

Ho la fortuna di avere avuto accanto a me persone speciali, a dire il vero molte delle quali non avrei mai conosciuto se non avessi studiato al Poli. Alcune non ci sono più perché le strade si sono divise, altre ci sono tuttora…tutte ci saranno sempre, perché ognuno ti lascia qualcosa se sai prestare attenzione.

Ringrazio anche le esperienze negative, perché aiutano a crescere.

È stato difficile mantenere un equilibrio mentale in un momento in cui tutto attorno ognuno di noi aveva a che fare con problemi più o meno gravi. L'ultimo anno accompagnato dal covid non è stato un periodo semplice per nessuno. Non bisogna esagerare dicendo che è stato un periodo terribile, di sicuro non è paragonabile alle guerre mondiali o eventi del genere, però in un mondo in cui le distanze fra le persone si acuiscono sempre più, il virus ha fatto più male di quanto pensiamo. Tuttavia…

La felicità la si può trovare anche negli attimi più tenebrosi, se solo uno si ricorda... di accendere la luce. cit.J.K.R

Dedico tutto questo alle persone più importanti della mia vita e un po' anche a me stesso perché, sebbene senza di loro non ce l'avrei fatta, non ho mollato.

Una freccia può essere scoccata solo tirandola indietro. Quando la vita ti trascina verso il basso con delle difficoltà, significa che sta per lanciarti in qualcosa di grande. Quindi concentrati e continua a mirare.

1 Introduzione

Oggigiorno le emissioni dovute ai mezzi di trasporto costituiscono una delle principali fonti di inquinamento. In un contesto temporale sempre più attento alle problematiche legate al rispetto del pianeta e alle energie rinnovabili, il tema della conversione alle automobili elettriche rappresenta un passaggio chiave e di estrema rilevanza, insieme alle recenti disposizioni sul plastic-free.

Un'altra problematica relativa alle emissioni dei veicoli riguarda i cosiddetti gas serra, come CO_2, CH_4, N_2O, idrofluorocarburi (HFCs), esafluoruro di zolfo (SF_6) e perfluorocarburi. Tali gas sono appunto i principali responsabili dell'effetto serra e del conseguente surriscaldamento globale, tema estremamente attuale. Come se non bastasse, a questi effetti negativi si aggiunge l'aumento del rischio di contrarre malattie cardiocircolatorie e respiratorie quali: infezioni, ictus, malattie polmonari croniche, fino ad arrivare al cancro.

L'introduzione di tecnologie atte a contrastare tali effetti di natura estremamente negativa, che sono quindi non solo a lungo termine, ma che possono colpire anche nell'immediato il singolo individuo, è dunque indispensabile. L'obiettivo da raggiungere nel più breve tempo possibile deve dunque essere di ridurre a 0 le emissioni di carbonio dovute al settore dei trasporti. Per far ciò si deve far fronte ad un graduale passaggio ai motori elettrici, che devono sostituire nella totalità i motori più largamente diffusi ai giorni nostri, ovvero i motori a combustione interna.

A causa dell'eccessivo costo delle batterie, di cui la Cina detiene praticamente il monopolio economico, negli anni scorsi questa tecnologia non ha avuto particolare seguito. La superpotenza asiatica ha infatti il grande vantaggio di avere a disposizione le materie prime alla base della produzione delle batterie, per cui il costo elevato di tali veicoli è dovuto al fatto che per la quasi totalità dei casi, le batterie hanno bisogno di essere importate dalla Cina. Tutto ciò è dovuto al fatto che la Cina si è mossa con largo anticipo rispetto alle altre nazioni. L'utilizzo di veicoli ecosostenibili è stato fonte di grande interesse per tale nazione, che si è trovata a far fronte a livelli di contaminazione dell'aria mai raggiunti prima, basti pensare ad una metropoli come Pechino.

Nonostante le criticità riscontrate in seguito al Covid-19, di cui l'industria automobilistica ha risentito in maniera particolare, con un netto calo delle vendite, forse il mondo dovrebbe cercare di fare un passo in più verso l'elettrico. La crisi economica ha colpito in diversa misura tutti i settori, per cui ad oggi pensare di investire pesantemente sulla totale conversione degli stabilimenti è forse un azzardo. Ci troviamo però di fronte ad una grande opportunità, che può migliorare notevolmente le condizioni dell'aria e portare a risultati significativi. Abbiamo visto come in fase di lockdown la salubrità dell'aria fosse nettamente migliorata; con un passaggio all'elettrico questo non sarebbe più un caso isolato e migliorerebbe la qualità della vita, soprattutto nei grandi centri urbani.

Valuteremo come i governi mondiali si stanno muovendo per far fronte a questo problema, innanzitutto analizzando quelle che sono le disposizioni in merito, i trend da seguire, gli

ecoincentivi forniti e lo sviluppo delle infrastrutture. Dopo aver approfondito il discorso, andando a verificare come le grandi case automobilistiche si stanno muovendo, passeremo ad un'analisi delle differenti tipologie di autoveicoli, con specifica attenzione ai motori ibridi e ai motori elettrici. A ciò seguirà un'ulteriore analisi dei pesi, della disposizione e dei volumi delle due tipologie di veicoli, con particolare attenzione ai materiali utilizzati.

Andando a confrontare le differenze di layout riscontrabili sulle linee produttive delle due diverse tipologie, arriveremo a quello che è il nostro fine ultimo, ovvero studiare in linea di massima le disposizioni necessarie alla conversione di uno stabilimento automobilistico tradizionale in uno stabilimento completamente adibito alla produzione di veicoli elettrici.

2 Proiettati verso l'elettrico: Normative, Incentivi e Panoramica

Alla base della nostra analisi ci sono le decisioni prese dagli stati mondiali in merito all'inquinamento dovuto ai mezzi di trasporto e alle relative emissioni. Conoscere tali direttive è imprescindibile per giustificare determinate scelte prese dalle case automobilistiche in termini di progettazione e produzione. Partiremo da quelle che sono le normative europee per poi concentrarci in maniera specifica sulla condizione italiana, oltre a dare una panoramica sulle decisioni prese dalle principali case automobilistiche del mondo.

2.1 Normativa di riferimento e promozione dell'elettrico

La normativa che attualmente definisce l'insieme di standard da seguire per prevenire l'inquinamento, dovuto a veicoli neoimmatricolati sul suolo europeo, è il noto "Euro VI". Si tratta appunto di un insieme di valori di riferimento a cui tutte le auto immatricolate dal settembre 2015 devono sottostare. I limiti posti alle emissioni variano in base a diversi fattori e sono definiti nel Regolamento CE n. 692/2008 del 18 luglio 2008 [2] di cui si riassumono i punti fondamentali.

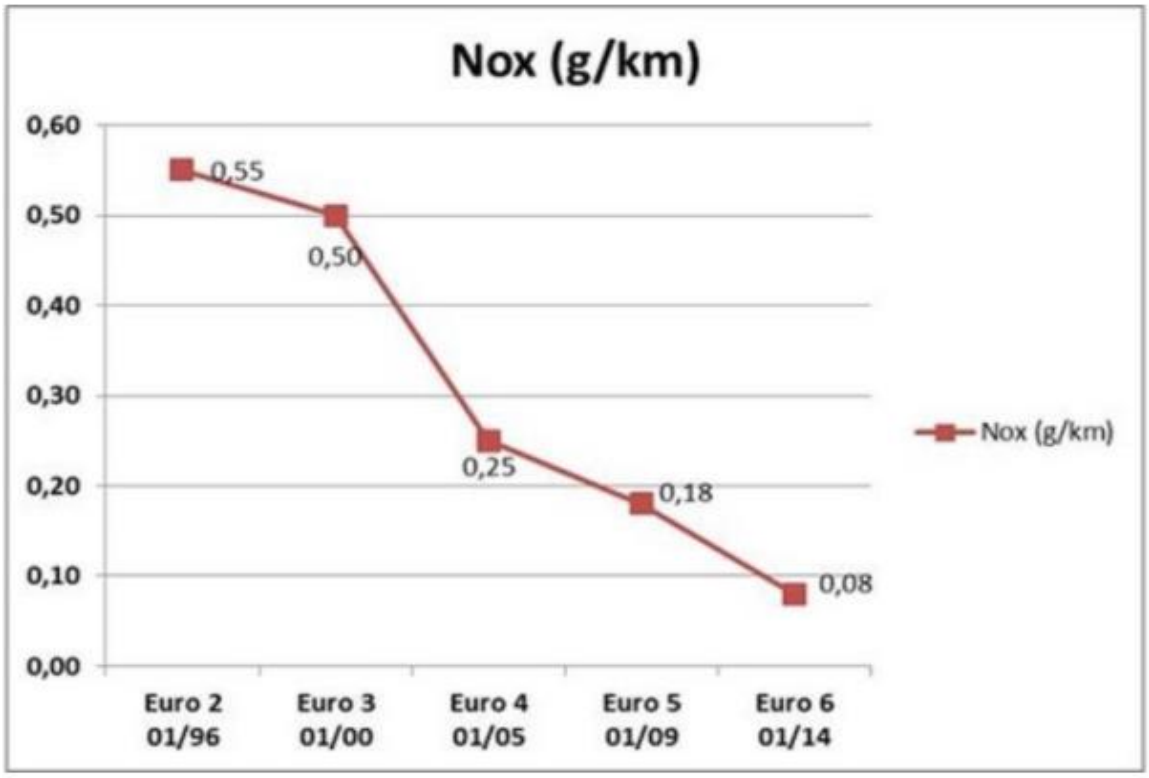

Figura 2.1 : Andamento storico dei limiti di NO_x nelle normative europee

L'Euro VI differisce dal precedente Euro V per alcuni valori di emissioni, evidenziati nella tabella della seguente, tratta dalla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea. Le tabelle mostrano i valori, espressi in mg/km. Come già detto ci sono più variabili di riferimento, ovvero MR massa di riferimento espressa in kg del veicolo e tipologia di

motore, ovvero PI e CI che indicano rispettivamente motori ad accensione comandata e motori ad accensione spontanea. Esaminando la tabella possiamo verificare come il limite relativo alle emissioni di CO, nel caso degli autoveicoli (categoria M) rimane uguale rispetto all'Euro V, fissato a 1000 mg/km e 500 mg/km rispettivamente per i motori a benzina e diesel. La modifica più significativa riguarda però i veicoli diesel, nei quali vi è un netto calo dei limiti relativi agli di ossidi di azoto NOx, che passano a 80 mg/km, rispetto ai 180 mg/km della precedente normativa. Importante è anche la riduzione relativa alla massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (THC + NOx) che passano a 170 mg/km, rispetto ai 230 mg/km dell'Euro V.

I precedenti dati riguardano però la prima revisione del regolamento Euro VI, riassumiamo adesso le ultime revisioni e in cosa differiscono [3].

- Euro VI A: Si tratta della prima versione, di cui abbiamo già discusso in precedenza.
- Euro VI B: Differisce dalla prima solo per quanto riguarda le emissioni di massa di particolato (PM) ed è in realtà compresa nella tabella allegata. Come si può notare infatti, i 4,5 mg/km sono relativi alla versione B, mentre i 5 mg/km sono relativi alla A.
- Euro VI C: Cambia il limite imposto al numero di particelle (P) per i motori ad accensione comandata (PI), si passa infatti da $6*10^{12}$ n./km (valore non ancora definito nell'immagine a disposizione) a $6*10^{11}$ n./km. Di notevole importanza è l'inclusione di un omologazione WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), effettuata in laboratorio. La prova consiste di una simulazione di guida (mista, urbana/extraurbana) della durata di 30 minuti e 23,25 km, con velocità media di 46,5 km/h e velocità massima di 131,3 km/h. Tale procedura sostituisce il vecchio NEDC (New European Driving Cycle), che sempre in laboratorio stimava emissioni e consumi, ma che non riusciva più a fornire risultati abbastanza precisi. Viene inoltre introdotto l'RDE (Real Driving Emission) per il monitoraggio delle emissioni su strada.
- Euro VI D-Temp: In vigore dal settembre 2008. A differenza della normativa precedente l'RDE non viene effettuato esclusivamente come monitoraggio, bensì prevede un test su strada per la misurazione effettiva delle emissioni. Per il superamento della suddetta prova, le emissioni registrate durante il test su strada potranno superare quelle registrate in laboratorio al massimo del 110%. I valori limite di NO_x in laboratorio saranno di 0,060 g/km per i benzina e 0,080 g/km per i diesel e di conseguenza, in strada, di 0,126 g/km per i benzina e 0,168 g/km per i diesel.
- Euro VI D: Si tratta della versione più restrittiva del D-Temp e riguarda i veicoli che vengono immatricolati da gennaio 2021. Si riduce il precedente 110% al 50%. I valori limite di NOx sono quindi di 0,090 g/km per i benzina e 0,120 g/km per i diesel.

«*Tabella 1*

limiti d'emissione EUR 5

Categoria	Classe	Massa di riferimento (MR) (kg)	Valori limite													
			Massa di monossido di carbonio (CO)		Massa di idrocarburi totali (THC)		Massa di idrocarburi non metanici (NMHC)		Massa di ossidi di azoto (NO_2)		Massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (THC + NO_2)		Massa di particolato (1) (PM)		Numero di particelle (2) (P)	
			L_1 (mg/km)		L_2 (mg/km)		L_3 (mg/km)		L_4 (mg/km)		$L_2 + L_4$ (mg/km)		L_5 (mg/km)		L_6 (n./km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI (3)	CI	PI	CI
M	—	Tutte	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0/4,5	5,0/4,5	—	$6,0 \times 10^{11}$
N_1	I	MR ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0/4,5	5,0/4,5	—	$6,0 \times 10^{11}$
	II	1 305 < MR ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	5,0/4,5	5,0/4,5	—	$6,0 \times 10^{11}$
	III	1 760 < MR	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0/4,5	5,0/4,5	—	$6,0 \times 10^{11}$
N_2	—	Tutte	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0/4,5	5,0/4,5	—	$6,0 \times 10^{11}$

Legenda: PI = motori ad accensione comandata, CI = motori ad accensione spontanea

(1) Un procedimento di misura riveduto per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite di 4,5 mg/km.

(2) Un nuovo procedimento di misura per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite.

(3) I limiti relativi alla massa di particolato per i motori ad accensione comandata si applicano solo ai veicoli con motore a iniezione diretta.

Tabella 2

limiti d'emissione EUR 6

Categoria	Classe	Massa di riferimento (MR) (kg)	Valori limite													
			Massa di monossido di carbonio (CO)		Massa di idrocarburi totali (THC)		Massa di idrocarburi non metanici (NMHC)		Massa di ossidi di azoto (NO_2)		Massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (THC + NO_2)		Massa di particolato (1) (PM)		Numero di particelle (2) (P)	
			L_1 (mg/km)		L_2 (mg/km)		L_3 (mg/km)		L_4 (mg/km)		$L_2 + L_4$ (mg/km)		L_5 (mg/km)		L_6 (n./km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI (3)	CI	PI (4)	CI (5)
M	—	Tutte	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0/4,5	5,0/4,5		$6,0 \times 10^{11}$
N_1	I	MR ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0/4,5	5,0/4,5		$6,0 \times 10^{11}$
	II	1 305 < MR ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	5,0/4,5	5,0/4,5		$6,0 \times 10^{11}$
	III	1 760 < MR	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0/4,5	5,0/4,5		$6,0 \times 10^{11}$
N_2	—	Tutte	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0/4,5	5,0/4,5		$6,0 \times 10^{11}$

Legenda: PI = motori ad accensione comandata, CI = motori ad accensione spontanea

(1) Un procedimento di misura riveduto per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite di 4,5 mg/km.

(2) In questa fase verrà definito un valore per i veicoli con motore ad accensione comandata.

(3) I limiti relativi alla massa di particolato per i motori ad accensione comandata si applicano solo ai veicoli con motore a iniezione diretta.

(4) Un valore sarà definito prima del 1° settembre 2014.

(5) Un nuovo procedimento di misura per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite.»

Figura 2.2 : Limiti di emissione Euro V ed Euro VI

Si riporta di seguito un confronto fra le varie normative, tenendo conto dei limiti equivalenti relativi alle emissioni equivalenti. Si noti come in determinate regioni nel mondo, ci si è mossi in maniera diversa.

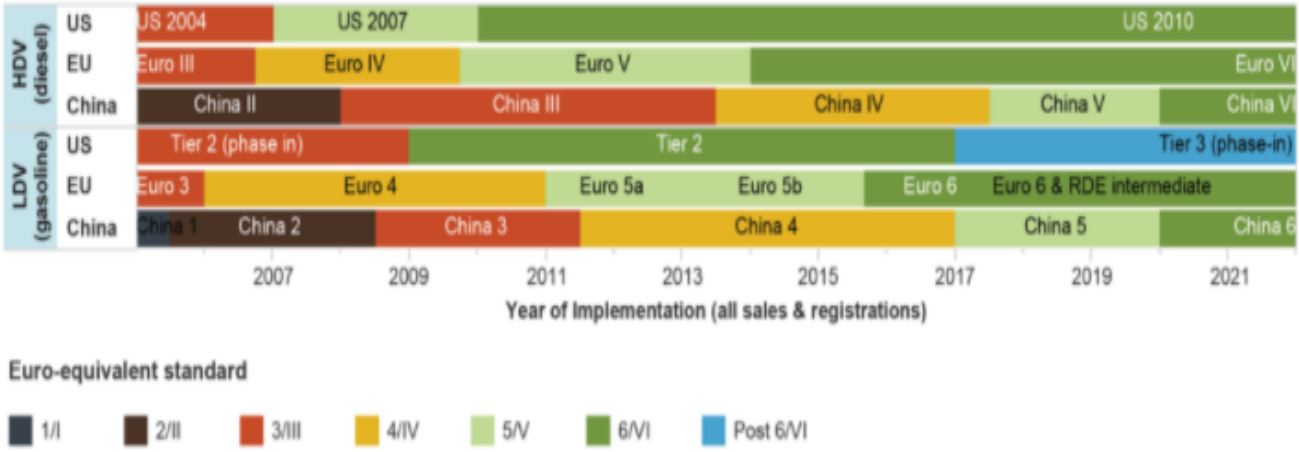

Figura 2.3 : Comparazione fra le diverse normative mondiali con andamento temporale

In aggiunta alla normativa vigente, è importante considerare come dal 2020 ogni casa automobilistica sarà costretta ad avere un limite massimo di emissioni di 95 g/km di CO_2. Tale limite non è ovviamente riferito alla singola vettura, ma alla media dei modelli disponibili in commercio. Con questa premessa è facile intuire come per rispettare tale restrizione, inserire nell'offerta almeno un modello a zero emissioni, abbassa di molto la media su tutta l'offerta del marchio.

Per quanto concerne gli incentivi europei, la diffusione delle stazioni di ricarica su tutto il territorio sarà possibile anche grazie al Next Generation EU, che si inserisce nel contesto del Recovery Fund. Quest'ultimo è uno strumento approvato dal Consiglio Europeo, che si pone l'obiettivo di aiutare l'UE a ripartire in seguito alle enormi perdite sociali ed economiche dovute alla pandemia da Covid-19, gettando le basi per un'Europa più attenta all'ambiente e tecnologicamente più moderna. Si tratta di una manovra totale da 1800 miliardi di euro i cui punti principali saranno [5]:

- Il programma Horizon Europe, che si occuperà di ricerca e innovazione nel periodo successivo alla pandemia (2021-2027)
- Il Fondo per una transizione giusta e il programma Europa digitale, che si occuperanno rispettivamente delle transizioni climatiche e digitali
- Il dispositivo per la ripresa e la resilienza (rescEU) ed il recente programma per la salute (EU4Health), che si occuperanno delle istruzioni in ambito medico

Nello specifico i fondi verranno distribuiti come illustra la Figura 2.4.

	QFP (Quadro Finanziario Pluriennale 2021-2027)	Next Generation EU	Totale
1. Mercato unico, innovazione e agenda digitale	132,8 miliardi di euro	10,6 miliardi di euro	143,4 miliardi di euro
2. Coesione, resilienza e valori	377,8 miliardi di euro	721,9 miliardi di euro	1 099,7 miliardi di euro
3. Risorse naturali e ambiente	356,4 miliardi di euro	17,5 miliardi di euro	373,9 miliardi di euro
4. Migrazione e gestione delle frontiere	22,7 miliardi di euro	-	22,7 miliardi di euro
5. Sicurezza e difesa	13,2 miliardi di euro	-	13,2 miliardi di euro
6. Vicinato e resto del mondo	98,4 miliardi di euro	-	98,4 miliardi di euro
7. Pubblica amministrazione europea	73,1 miliardi di euro	-	73,1 miliardi di euro
TOTALE QFP	1 074,3 miliardi di euro	750 miliardi di euro	1 824,3 miliardi di euro

Figura 2.4 : Cifre stanziate per il piano di ripresa dell'Europa

Come prevedibile, tali cifre verranno poi suddivise diversamente, in base ai danni economico-sociali che ogni paese membro dell'UE ha subito. In questa sfortunata classifica Spagna ed Italia occupano le prime due posizioni e saranno dunque i paesi destinati a ricevere una percentuale maggiore di tali incentivi. Approssimativamente il totale destinato all'Italia sarà di circa 210 miliardi di euro.

Dopo questa panoramica generale, passiamo ad analizzare il caso nazionale. In Italia a partire dall' 1 Marzo 2019 sono infatti state approvate delle significative misure legislative in merito. Una delle misure prese dal governo è stata l'introduzione dell'ecotassa, per sfavorire l'acquisto di veicoli con emissioni di CO_2 superiori ai 160 g/km, che risultano dunque dannose dal punto di vista dell'impatto ambientale. Si tratta di un contributo da versare al momento dell'immatricolazione di una nuova auto sul suolo nazionale e non riguarda in alcun modo le auto già immatricolate prima di tale provvedimento. Nello specifico la sovrattassa ammonta a [6]:

- 1.100 € per i veicoli con emissioni da 161 a 175 g/km
- 1.600 € per i veicoli con emissioni da 176 a 200 g/km
- 2.000 € per i veicoli con emissioni da 201 a 250 g/km
- 2.500 € per i veicoli con emissioni da 250 g/km o superiori

Significativi sono anche i cosiddetti Eco-bonus messi a disposizione dal ministero dello sviluppo economico italiano. Sia nel 2019 che nel 2020, sono stati infatti destinate ingenti quantità di denaro destinate agli utenti intenzionati ad acquistare veicoli conformi all' Euro VI.

In particolare dall'1 Agosto al 31 Dicembre 2020, in seguito dell'approvazione del Decreto Rilancio [7], sul sito del ministero, è possibile prenotare gli incentivi per l'acquisto di veicoli M1 (ovvero quei veicoli adibiti al trasporto di persone, dotati di 4 ruote e con un massimo di 8 posti a sedere oltre al conducente) a ridotte emissioni. Un'ulteriore spinta è stata data dalla modifica apportata al suddetto decreto, che dall'1 Settembre prevede ulteriori 400 milioni di euro in aggiunta a quelli precedentemente stanziati.

In particolare a seconda delle categorie di emissione gli incentivi ammontano a [8]:

- 6.000 €/4.000 € con/senza rottamazione con emissioni 0-20 g/km
- 2.500 €/1.500 € con/senza rottamazione con emissioni 21-60 g/km
- 1.750 €/1.000 € con/senza rottamazione con emissioni 61-90 g/km
- 1.500 €/750 € con/senza rottamazione con emissioni 91-110 g/km

2. Il fondo di cui all'articolo 1, comma 1041, della legge 30 dicembre 2018, n. 145, e' rifinanziato di 400 milioni di euro per l'anno 2020, di cui 300 milioni di euro quale limite di spesa da destinare esclusivamente all'attuazione delle previsioni di cui all'articolo 44, comma 1-bis, lettere a) e b), del decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34, convertito, con modificazioni, dalla legge 17 luglio 2020, n. 77, come modificate dal comma 1 del presente articolo, secondo la seguente ripartizione:

a) euro 50 milioni riservati per i contributi aggiuntivi all'acquisto di autoveicoli compresi nelle fasce 0-20 g/km Co2 e 21-60 g/km Co2 di cui alle lettere a) e b) del comma 1-bis dell'articolo 44 del decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34, convertito, con modificazioni, dalla legge 17 luglio 2020, n. 77;

b) euro 150 milioni riservati per i contributi all'acquisto di autoveicoli compresi nella fascia 61-90 g/km Co2, acquistati a decorrere dall'entrata in vigore del presente decreto;

c) euro 100 milioni riservati per i contributi all'acquisto di autoveicoli compresi nella fascia 91-110 g/km Co2, acquistati a decorrere dall'entrata in vigore del presente decreto.

Figura 2.5 : Estratto del D-L convertito con modificazioni dalla L. 13 ottobre 2020, n. 126

A tali somme si potranno però aggiungere ulteriori agevolazioni derivanti dallo stesso eco-bonus e dallo sconto dei concessionari, per cui oggigiorno, nel caso di veicoli totalmente green e rottamando un veicolo (il quale deve essere appartenente alla categoria M1 ed alle omologazioni Euro 0, 1, 2, 3 e 4, immatricolato da almeno 10 anni ed intestato da almeno 12 mesi ad uno dei membri della famiglia), in Italia si raggiunge un incentivo totale ammontante ad un valore massimo di 10.000 €. Si parla dunque di cifre importanti, che lasciano spazio ad un'analisi che affronteremo nel capitolo seguente.

2.2 Panoramica su trend da seguire e su case costruttrici leader del settore

Avendo illustrato le normative e incentivi, analizziamo dunque i trend da seguire per una corretta diffusione dell'elettrico e come si stanno muovendo i principali costruttori mondiali. Sebbene infatti molte case automobilistiche si siano mosse con largo anticipo, anche con ulteriori importanti incentivi, al fine di esaltare i propri modelli più conformi alle ultime modifiche apportate all'Euro VI, vi sono ancora altri competitor che non sono altrettanto attivi sotto questo punto di vista.

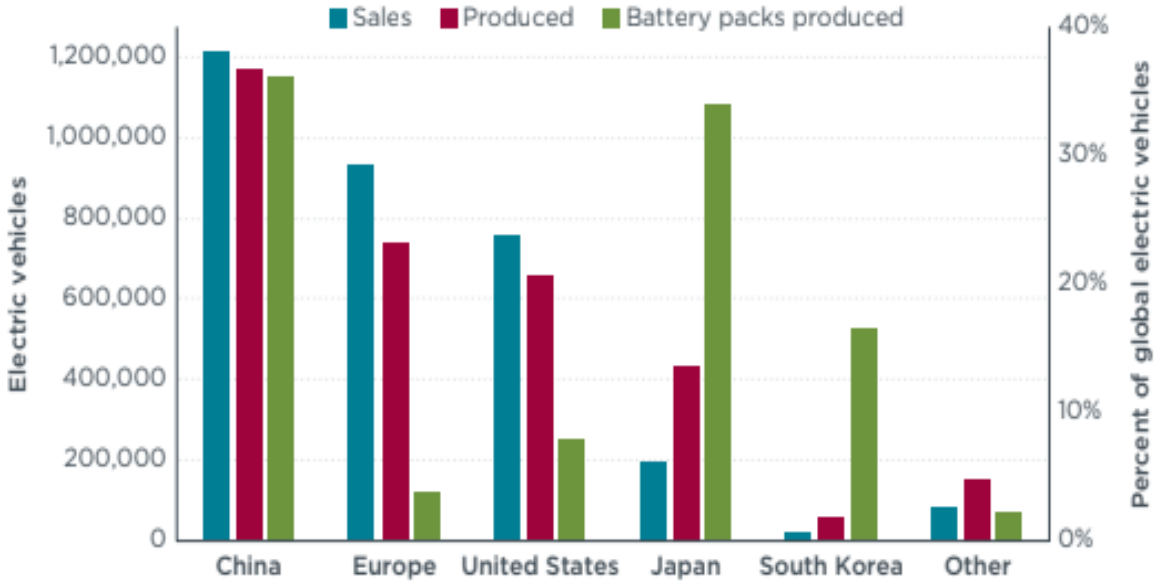

Figura 2.6 : Vendite di ICE, produzione di ICE e pacchi batteria relativi al 2017 (Fonte International Council on Clean Transportation)

Secondo le previsioni della Boston Consulting Group (BCG) [9], società di consulenza strategica statunitense, entro la fine del 2025 il mercato delle auto elettriche rappresenterà un terzo del mercato globale automobilistico ed il 51% entro la fine del 2030. Secondo lo stesso gruppo statunitense, nel prossimo decennio le principali case produttrici destineranno oltre 300 miliardi di dollari al fine di incrementare la produzione di veicoli xEV (ovvero BEV Battery electric vehicle e PHEV Plug-in hybrid elecrtic vehicle). Sono molteplici i fattori che portano a questa previsione; in primo luogo i contributi da parte dei governi, oltre alla riduzione del costo delle batterie e delle emissioni.

L'analisi dei trend attuali risulta di difficile interpretazione, vista la recente crisi del settore automotive dovuta al Covid-19, tuttavia può essere interessante verificare come si stanno muovendo due leader nel settore automotive, ovvero Tesla e Volkswagen. Abbiamo constatato come di primaria importanza siano i contributi governativi, bisogna però che accanto agli incentivi, favorevoli dal punto di vista dell'utenza, vi siano anche delle leggi che aiutino i produttori allo sviluppo delle infrastrutture.

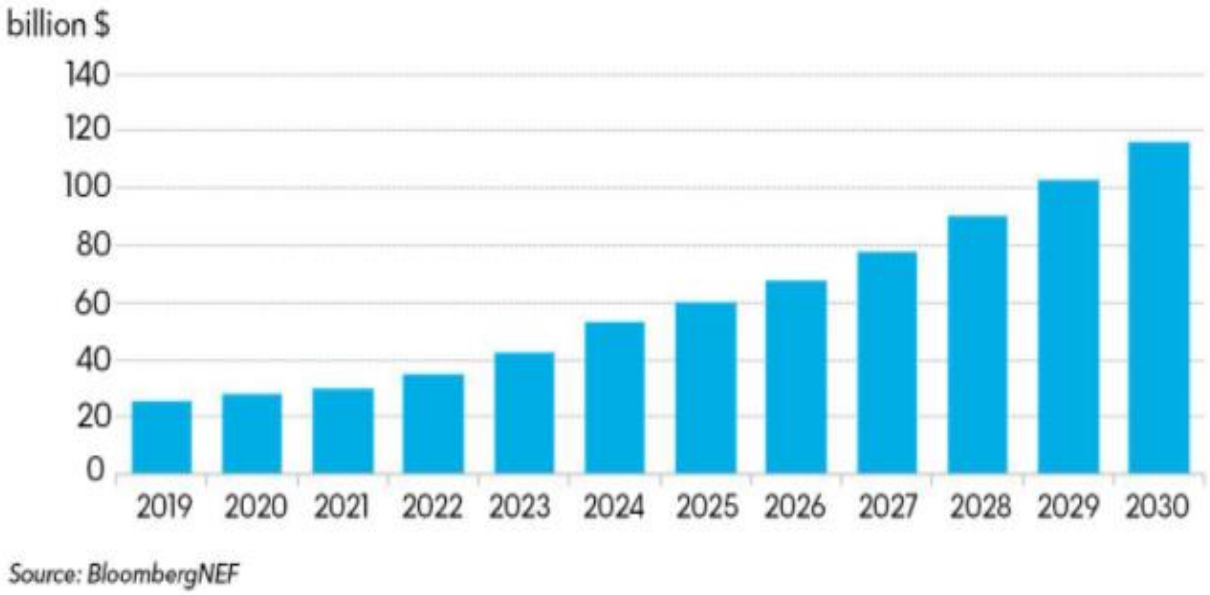

Figura 2.7 : Andamento del mercato delle batterie al litio secondo BloombergNEF

A tal proposito, un esempio rilevante di aiuti da parte dello stato è rappresentato dallo stato del Nevada, che ha facilitato di molto a livello burocratico la realizzazione di uno dei più grandi progetti mondiali in ambito elettrico. Nel 2014, è infatti iniziata la costruzione della Tesla Gigafactory nello stato americano.

La Tesla, nata nel 2003 come Tesla Motors, è un'azienda statunitense che si occupa della produzioni di energie rinnovabile come sistemi di immagazzinamento energetico, pannelli fotovoltaici e soprattutto di automobili elettriche, delle quali nel 2020 è divenuta l'azienda ad aver prodotto il maggior numero, toccando quota 1 milione.

Figura 2.8 : Tesla Gigafactory 1 in Nevada, USA

La struttura, con i suoi 180.000 m^2 di superficie occupata, rappresenta uno dei progetti più importanti per quanto riguardo la tecnologia dei BEV [10]. La Gigafactory, non ancora completa al 100%, sarà totalmente autosufficiente dal punto di vista energetico, soprattutto grazie all'installazione di pannelli solari su tutta la superficie del tetto e ad efficiente impianto di riscaldamento ad acqua consente di contrastare i grandi sbalzi di temperatura caratteristici del deserto del Nevada, dove sorge la gigantesca struttura.

L'eco-sostenibilità dello stesso impianto è di vitale importanza per l'azienda, dato che uno dei punti saldi su cui si basa la stessa, è proprio l'utilizzo di tecnologie green. Il basso impatto ambientale non deve essere una prerogativa delle solo autovetture, bensì anche delle stesse fabbriche, in modo da migliorare sostanzialmente l'appeal, inculcando nel cliente finale l'idea di star contribuendo anche sotto questo punto di vista a rendere il mondo un posto migliore.

Figura 2.9 : Tesla Model 3

La produzione di batterie agli ioni di litio all'interno della fabbrica, che è il punto chiave che ha portato il colosso americano a spingere fortemente per la creazione della fabbrica, si aggira attorno ai 10 milioni di celle al giorno. Per dare un'idea, per la produzione di una singola Tesla Model 3 si utilizzano in media 400 celle, per cui se i dati sulla produzione fossero effettivamente quelli forniti dal costruttore, parleremmo di circa 25.000 Tesla Model 3 al giorno.

Dati alla mano, si parla di una cifra estremamente ambiziosa se consideriamo che i più grandi produttori mondiali, fra i quali primeggia la stessa Volkswagen di cui parleremo in seguito, nel 2018 hanno immatricolato mediamente fra i 25.000 e i 30.000 veicoli al giorno [11].

Un tale livello di produttività è possibile grazie alla fortissima automatizzazione presente nello stabilimento. Vari centinaia di robot industriali conferiscono infatti, affiancati da circa 700 tecnici specializzati, una ripetibilità ed una produttività che sarebbero impossibili da raggiungere con il solo ausilio di operatori umani.

I robot industriali più largamente utilizzati sono i robot antropomorfi, che si rifanno alla struttura del braccio umano e presentano 6 o più gradi di libertà. Essi vengono affiancati dagli Automated Guided Vehicle (AGV), che sfruttano la bande magnetiche disposte sul pavimento per movimentare i materiali senza l'ausilio di personale.

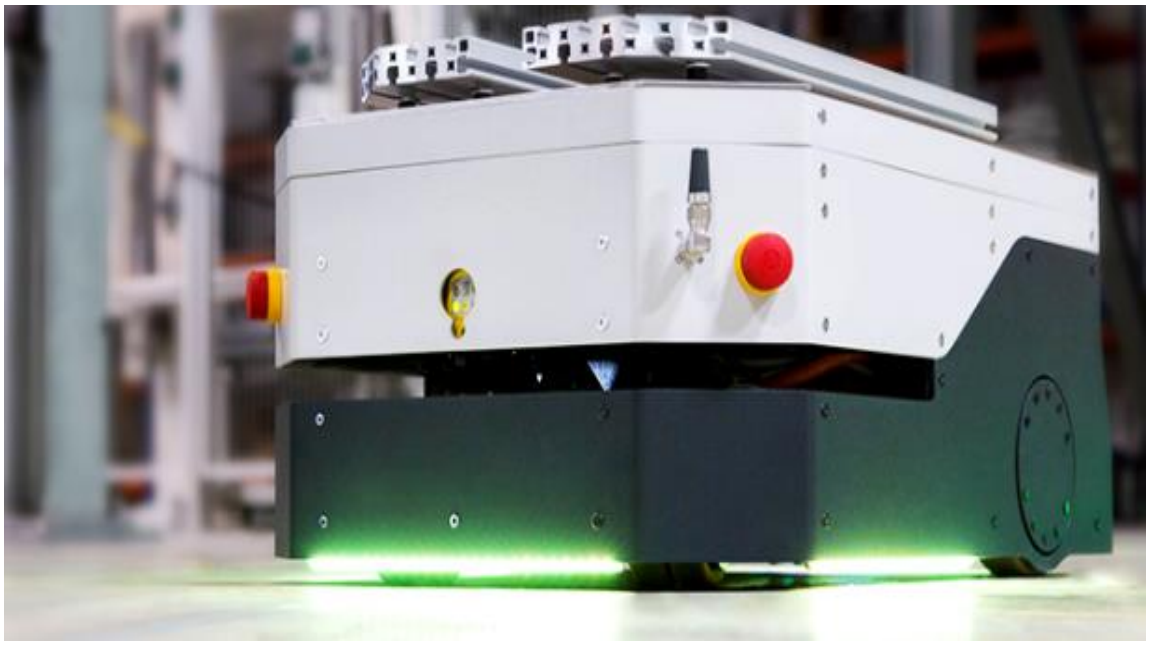

Figura 2.10 : Automated Guided Vehicle in moto

Per quanto visto Tesla risulta dunque un modello da seguire, nonostante la casa statunitense sia stata fondata solamente nel 2003. Andiamo adesso a vedere come si è mossa una casa produttrice ben più longeva come Audi. Come è noto, la casa automobilistica tedesca appartiene al gruppo Volkswagen, ovvero il maggior produttore mondiale di auto negli ultimi anni.

Il gruppo Volkswagen sta infatti per diventare il primo gruppo automotive europeo a destinare uno dei propri impianti alla sola produzione di veicoli elettrici [12]. Si prevede che a partire dal 2021 dallo stabilimento di Zwickau verranno prodotti sei modelli a marchio Audi, Volkswagen e Seat e saranno appunto, modelli esclusivamente elettrici.

Figura 2.11 : Stabilimento di Zwickau/Mosel visto dall'alto

Il progetto prevede di sfruttare l'enorme capacità produttiva dell'impianto di Zwickau/Mosel, che ammonta a circa 330.000 veicoli all'anno. In tal modo la multinazionale tedesca spera di rendere l'elettrico una realtà concreta, e non più un prodotto di nicchia, come purtroppo risulta essere attualmente questa tecnologia. Per far ciò la stessa Volkswagen ha intenzione di incrementare ulteriormente il grado di automazione dell'impianto. Il progetto prevede di triplicare il numero di robot industriali, al fine di incrementare la produttività sui modelli più venduti della linea.

Figura 2.12 : Robot addetti alla movimentazione nello stabilimento di Zwickau

Il dirigente Volkswagen Thomas Ulbrich, responsabile della eco-mobilità dichiara che il loro principale obiettivo è quello di raggiungere lo step successivo nel contesto dell'ingegneria automotive. Per far ciò sarà necessario un'elevata meccanicizzazione e ricorrendo al MEB.Il suddetto MEB (Modular Electrification Toolkit) è un sistema modulare sviluppato da parte dalla stessa casa tedesca, che permette di produrre i veicoli elettrici in maniera ancora più efficiente. Nello specifico, questa tecnica prevede di utilizzare una differente disposizione dei componenti interni, ottimizzando il processo produttivo ed incrementando al contempo lo spazio all'interno dell'abitacolo.

Quest'ultimo aspetto risulta estremamente rilevante per quanto riguarda le citycar, perché consente di avere auto più spaziose ma dalle dimensioni esterne limitate, incrementando l'appeal. Tutto ciò, come anticipato, è possibile con una particolare disposizione del motore (disposto sul posteriore) e del blocco batterie, che giace sul fondo del pianale, risultando simile ad una grande tavoletta di cioccolato. L'archetipo di questa nuova tecnologia, sulla quale si baseranno i nuovi modelli in produzione, è il telaio della nuova Volkswagen ID.3. In aggiunta, una vasta gamma di accessori quali aiuti alla guida e display multifunzionali rendono l'esperienza di guida in città ancora più confortevole.

Figura 2.13 : Telaio ID, presentato a Dresden

Avendo esaminato come si stanno muovendo i due produttori, possiamo fornire delle considerazioni finali.

Da un lato abbiamo la Tesla, che fondamentalmente è una new entry sul mercato dell'auto e punta fortemente sul solo elettrico, di cui rappresenta tuttavia la casa di riferimento, cercando di incrementare fortemente la produttività; dall'altro troviamo la Volkswagen, uno dei più affermati produttori di ICE (Internal Combustion Engine), che punta invece su delle nuove caratteristiche che possano portare il pubblico a scegliere i BEV (Battery Electric Vehicles), avendo già alle spalle una nutrita clientela. Le strategie sono ben diverse e avendo analizzato i trend da seguire, sarà il tempo a dire quale delle due sarà la più efficace.

3 Le opportunità di un trasporto green

La conversione che il mondo dei trasporti deve subire necessita di un impulso; bisogna infatti osservare che accanto al vero e proprio passaggio all'elettrico, vi sarà tutto un insieme di adattamenti ed infrastrutture adeguate da creare, il cui fine deve essere quello di invogliare gli utenti a scegliere un veicolo di tale tipologia (Battery Electric Vehicles) rispetto ad uno non elettrico (Internal Combustion Engine vehicles oppure Hybrid Electric Vehicles). A tal proposito può essere utile avere una panoramica su quelle che sono le opportunità che il mercato attualmente ci offre. In secondo luogo andremo a vedere quelle che sono le installazioni che permettono l'utilizzo efficiente di queste vetture a zero emissioni.

3.1 Cenni storici e catalogo produttori

Contrariamente a quanto si pensa, i primi modelli rudimentali di veicolo elettrico risalgono già ai primi anni dell'800. Si trattava di dispostivi di piccole dimensioni dotati a loro volta di un motore rudimentale ma comunque efficace, costituito da commutatore, rotore e statore. Il primo a costruirne uno nel 1827 fu Ányos Jedlik, un prete ungaro [13].

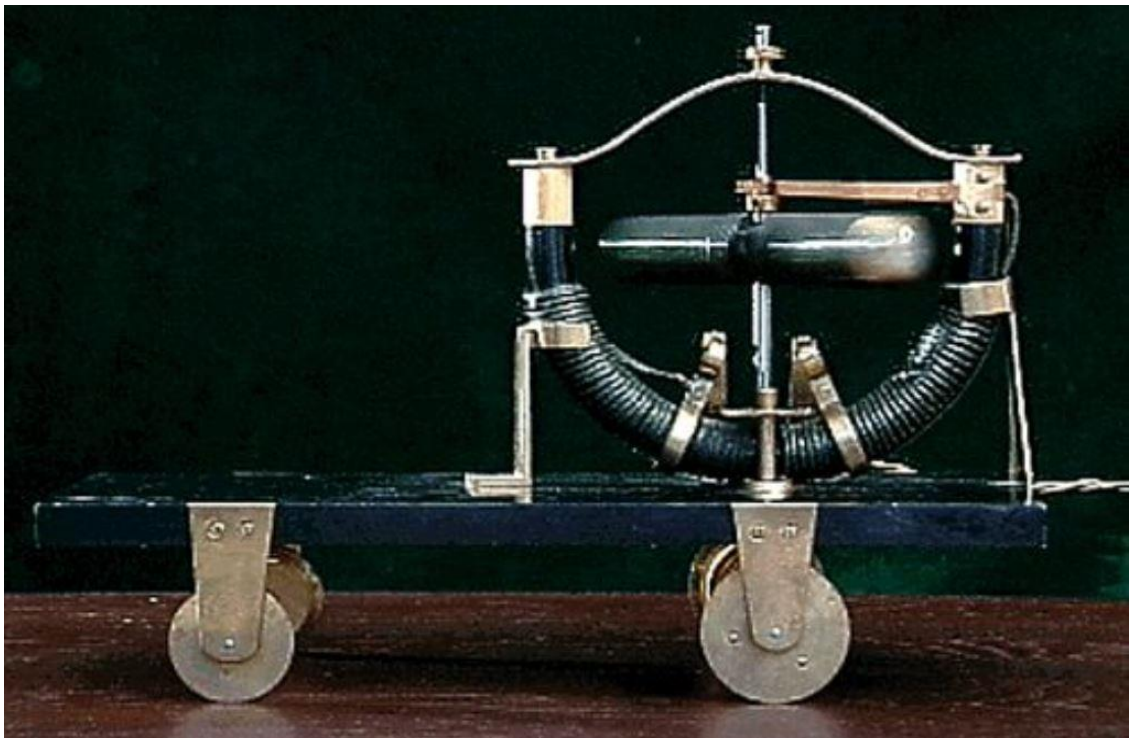

Figura 3.1 : Antenato dell'attuale auto elettrica, progettato da Ányos Jedlik

Le automobili elettriche rappresentavano una porzione significativa di tutte le vetture presenti nel panorama europeo già dagli ultimi anni del diciannovesimo secolo. Nello specifico una delle prime auto elettrica assimilabile alle odierne vetture, fu realizzata nel 1884 da Thomas Parker, soprannominato "L'Edison d'Europa".

Egli fu un ingegnere inglese responsabile di molte applicazioni elettriche nella Londra di fine secolo, tra le quali anche alcune relative alla metropolitana della stessa capitale inglese. Il veicolo era alimentato da batterie ricaricabili, che venivano prodotte dalla compagnia di cui Parer stesso era stato un fondatore nel 1882, denominata Elwell-Parker Ltd.

Figura 3.2 : Thomas Parker (al centro nella foto) ed una delle sue vetture elettriche

In generale si trattava di vetture con un'autonomia di poche decine di chilometri e che raggiungevano mediamente i 35 km/h. In principio i veicoli elettrici riscossero un notevole successo, a causa di molteplici fattori che li rendevano più vantaggiosi rispetto ai veicoli a combustione interna, quali:

- Buone prestazioni
- Elevata affidabilità
- Minore rumorosità
- Minor livello di manutenzione
- Elevato costo dei combustibili

La popolarità delle auto elettriche continuò fino al periodo della seconda guerra mondiale, ovvero fino a quando il petrolio non divenne più economico e più facilmente reperibile. Nacquero così sempre più stazioni di rifornimento e la produzione di veicoli a combustione interna incrementò notevolmente, soprattutto grazie alle innovazioni tecnologiche apportate da Henry Ford. La diffusione dell'elettrico subì un a brusca frenata, a causa delle sempre maggiori prestazioni che offrivano i veicoli ICE, oltre ai prezzi di quest'ultima tipologia di vetture, che andavano drasticamente diminuendo.

Ritorniamo così ai giorni nostri. Per la desiderata inversione di tendenza, una delle chiavi principali è indubbiamente la capacità delle batterie, che aveva rappresentato il punto critico nei decenni scorsi. Col passare degli anni abbiamo raggiunto delle capacità sempre maggiori grazie all'avanzare delle tecnologie e i BEV di conseguenza , hanno un appeal sempre più crescente.

Dunque l'autonomia crescente e la presenza di incentivi sempre più importanti, invoglia gli utenti a virare sull'elettrico, contrariamente a quanto accadeva fino a pochi anni fa. Le cause automobilistiche si stanno sempre più attrezzando, in base alle normative vigenti, ampliando l'offerta sull'elettrico. Come già accennato nel precedente capitolo, oggigiorno avere almeno un modello totalmente elettrico nel proprio catalogo è indispensabile per rispettare le nuove restrizioni.

Per completezza riportiamo una tabella che illustra i modelli di automobili elettriche delle principali case automobilistiche ad oggi presenti sul mercato.

Casa automobilistica	**Modello**	**Capacità massima batteria (kWh)**
Audi	e-tron	71
BMW	i3	42,2
Chevrolet	Bolt	60
Citroen	C-Zero	14,5
Peugeot	iOn	14,5
Fiat	500e	42
Hyundai	Kona Electric	64
Hyundai	Ioniq Electric	38,3
Kia	Soul EV	64
Kia	Niro EV	64
Jaguar	I-Pace	90
Mini	Cooper SE	28,9
Nissan	Leaf	40
Nissan	Leaf e+	62
Mercedes-Benz	EQC	80
Mitsubishi	i-MIEV	16
Opel	Ampera-e	60
Peugeot	iOn	14,5
Renault	Fluence ZE	22
Renault	Twizy	6
Renault	Zoe	52

Smart	EQ	17,6
Tesla	Model S	100
Tesla	Model X	100
Tesla	Model 3	75
Volkswagen	e-Golf	35,8
Volkswagen	e-Up	35,8

Tabella 3.1 : Modelli elettrici delle principali case automobilistiche e relativa autonomia

Le capacità delle batterie dei sopracitati modelli consente autonomie ben superiori alle poche decine di chilometri caratteristiche delle auto del secolo scorso. Mediamente infatti si parla di 350/400 km di autonomia totale, con un minimo che si aggira sui 180 km per i modelli più economici fino ad arrivare ai circa 640 km della Tesla Model S Long Range Plus. Uno dei più grandi vantaggi di quest'ultimo modello è anche la super ricarica, che permette addirittura di guadagnare 215 km di autonomia in soli 15 minuti di ricarica presso i supercharger.

Figura 3.3 : Tesla Model S Long Range Plus

Il raggiungimento di tali performance è il passaggio che mancava, in quanto tali autonomie basicamente sono in grado di consentire tutti gli spostamenti di breve-medio raggio. La diffusione dei BEV dipenderà adesso delle innovazioni tecnologiche relative alle batterie installate al loro interno e alla continua costruzione di infrastrutture che ne consentiranno la ricarica.

3.2 Wallbox e colonnine di ricarica

La presenza delle batterie al litio determina una certa autonomia nei BEV. Una volta esaurita la carica della batteria è necessario provvedere alla ricarica degli accumulatori; per l'utente medio ciò sarebbe ideale se effettuato in un ambiente domestico ed in tempi accettabili. La ricarica è possibile di strumenti come le wallbox e/o le colonnine di ricarica. Ciò non è sempre possibile se l'abitazione (o il condominio) non dispone di un attacco elettrico ideale e di un relativo contatore che permetta di sostenere un determinato chilowattaggio.

Un altro inconveniente potrebbe sorgere appunto nel momento in cui l'utente non avesse abbastanza tempo per ricaricare la propria automobile, ad esempio se la carica delle batterie si esaurisce nel mezzo della giornata. Per ovviare a ciò si dovrebbe ricorrere a delle torrette di ricarica, ormai relativamente presenti sul territorio nazionale. Per renderci meglio conto delle tempistiche relative alla ricarica riportiamo di seguito i tempi di ricarica relativi alla Renault Zoe, piccola utilitaria con batteria da 52 kWh [14].

Tempo di ricarica con le diverse prese e potenze	
Caricatore	Adattivo mono-trifase AC (da 2 kW a 22 kW) e DC (fino a 50 kW)
Presa domestica 2,3 kW (monofase 10A) (0-100%)	32 ore
Wallbox 7,4 kW (monofase 32 A) (0-100%)	9 ore e 30 minuti
Colonnina 11 kW (trifase 16 A) (0-100%)	6 ore
Colonnina 22 kW (trifase 32 A) (0-100%)	3 ore
Ricarica rapida DC 50 kW (0-80%)	1 ora e 10 minuti

Figura 3.4 : Tempi medi di ricarica di una Renault Zoe

La precedente figura evidenzia come, non avere un impianto domestico efficiente, rende praticamente impossibile la ricarica di un veicolo elettrico in tempi accettabili. Il solo utilizzo di una comune presa domestica è infatti palesemente insufficiente.

La soluzione minima per un utilizzo frequente del mezzo prevede dunque l'installazione di un wallbox, in modo da poter ricaricare le batterie durante la notte. Si tratta di dispositivi di interfaccia fra la corrente della rete elettrica casalinga e l'auto, in

grado di gestire potenze superiori in maggior sicurezza. Vediamo in che modo è possibile installarli ed i costi medi.

I suddetti strumenti, che consentono di ricaricare comodamente nell'arco di una notte una batteria di media capacità, godono di incentivi come le vetture per le quali sono state ideate. Al contrario delle auto però, in Italia l'installazione di tali dispositivi viene considerata come un'operazione di ristrutturazione edilizia. Ugualmente a quanto avviene per altri interventi domestici (come ad esempio l'installazione di pannelli solari o la sostituzione degli infissi) tale miglioria da il diritto ad uno sgravo fiscale distribuito in dieci anni e che ammonta alla metà del costo dell'intervento.

I costi variano in linea di massima dai 500 € ai 3000 € [15] a secondo del modello di wallbox scelto, vista l'enorme offerta presente sul mercato, a cui vanno ovviamente aggiunti i costi di installazione. Ciò è determinato dalle diverse funzionalità che offrono i sistemi di ricarica, che spesso sono molto più di semplici prese elettriche ad elevate prestazioni; fra queste possiamo trovare la gestione del dispositivo in remoto tramite smartphone , la possibilità di interconnessione fra due o più smartbox ed inoltre, fra le più importanti, la possibilità di regolare la potenza erogata dal dispositivo a seconda delle fasce orarie.

Figura 3.5 : Easy Wallbox Jeep

Quest'ultima caratteristica ci consente di trattare un tema abbastanza delicato, che suscita spesso preoccupazione nel cliente che per la prima volta sceglie un'auto elettrica; la gestione della potenza contrattuale della fornitura elettrica.

Per gestire un dispositivo del tipo appena presentato è infatti indispensabile aumentare, nella maggior parte dei casi, la potenza contrattuale [16]. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, tale procedura non è particolarmente dispendiosa, né tantomeno risulta particolarmente complessa (per aumenti fino ai 6 KW , visto che al di sopra di tale soglia

potrebbe infatti essere necessario cambiare il contatore o la modificare la rete elettrica). I costi per la gestione, si dividono fra costi fissi, da versare una tantum, e costi annuali. Il contributo fisso iniziale generalmente non supera i 300-350 e varia a seconda dal nuovo valore di soglia scelto, dato che si può scegliere ad esempio, fra 4,5 o 6 KW. I contributi annuali dipendono sempre dal fornitore e difficilmente superano i 100 €/anno.

Le considerazioni effettuate fino a questo punto si concentrano soprattutto sulla sfera privata dell'utente, va però preso in esame anche l'aspetto pubblico. La costante immissione sul suolo nazionale di veicoli elettrici ha reso infatti necessaria la realizzazione di un'efficiente rete di torrette per la ricarica delle batterie; è infatti possibile che vi sia un guidatore in viaggio, che non avendo a disposizione la propria wallbox, abbia la necessità di ricaricare le batteria presso una torretta presente lungo il tragitto.

Prendiamo dunque in considerazione le varie tipologie di stazioni di alimentazione elettrica impiegate in questo tipo di applicazione, analizzandone le differenze e le caratteristiche delle varie tipologie.

Come per le wallbox le colonnine differiscono innanzitutto in base alla potenza massima raggiungibile. In caso di alimentazione con sistema monofase le colonnine hanno generalmente una potenza massima di 3,7 KW. Questo caso è dunque quello più simile alla comune wallbox, che potrebbe dunque essere installata in una comune abitazione. Le colonnine che più frequentemente incontriamo in prossimità di supermercati, centri commerciali, condomini o ancora stazioni di servizio, sono invece connesse ad un sistema trifase. In tal caso le potenze disponibili sono da 7,4 KW, 11 KW, 22 KW fino ad un massimo di 50 KW per i Fast Recharge [17].

Figura 3.6 : Colonnina ad elevate prestazioni per la ricarica delle auto elettriche

Anche in questo caso dunque, come per le wallbox, è possibile installare le colonnine in prossimità di un appartamento, qualora esso goda di una rete elettrica in grado di supportare una potenza assorbita maggiore. I costi sono paragonabili a quelli dei precedenti dispositivi ed entrambe le operazioni rientrano nell'operazione del Superbonus 110%, ovvero un'agevolazione fiscale del 110% per la riqualifica energetica prevista dal Decreto Rilancio, valida per interventi sostenuti fino al 30 giugno 20202.

Figura 3.7 : Presenza di stazioni Enel X sul territorio

La distribuzione delle colonnine private procede celermente nei più importanti poli industriali del paese, soprattutto al nord Italia. Un esempio in tal senso è Enel X [18], di cui abbiamo verificato la presenza sul territorio in Figura 3.7. La società nata nel 2017, che fa parte del gruppo Enel sta operando attivamente, fra le altre, in una città economicamente molto importante come Torino [19]. I responsabili Enel hanno infatti dichiarato che l'obiettivo è quello di raggiungere, entro i 2022, i 28.000 punti di ricarica nell'area del capoluogo piemontese.

Ritornando alle considerazioni tecniche sull'argomento, bisogna tener conto che non sempre vi è la possibilità di ricaricare le vetture a torrette ad elevate prestazioni (come le Fast Recharge da 50 KW). Bisogna infatti considerare che ogni modello di auto potrebbe non essere in grado di sfruttare a pieno la potenza massima delle torrette, ciò dipende infatti dalle caratteristiche della batteria e del cavo per la ricarica.

La Figura 3.8 mostra uno dei più comuni modelli di torretta Enel X, con due uscite per la ricarica, ciascuna in grado di raggiungere i 22 KW di potenza. Inoltre è possibile notare come la stazione di ricarica fornisca indicazioni, tra le quali:

- Stato della connessione
- Potenza elettrica erogata
- Tipologia di connettore da utilizzare

Figura 3.8 : Torretta Enel X con doppio attacco di ricarica

Riguardo quest'ultima caratteristica, la presa del connettore più diffusa in Italia nelle colonnine pubbliche è il tipo 2 (o Mennekes). BEVs e HEVs tuttavia non sempre hanno in dotazione il connettore al momento dell'acquisto. Per tale motivo è importante, se possibile, la scelta del cavo, in modo da poter sfruttare appieno le caratteristiche della wallbox o della colonnina a cui si collega il veicolo. Allo stesso tempo scegliere un cavo più o meno lungo può facilitare il processo di connessione dell'auto.

Figura 3.9 : Cavo di ricarica di Tipo 2

3.3 Vantaggi e svantaggi tecnologici

Sebbene non abbiamo ancora affrontato da un punto di vista strutturale le differenze fra le varie tipologie di veicoli è importante introdurre il concetto di efficienza generale. Come è noto per efficienza si intende il rapporto fra energia resa e energia utilizzata e varia di molto a seconda della struttura del gruppo di propulsione adottato. Non essendo lo scopo principale del nostro studio, affrontiamo un discorso semplificato.

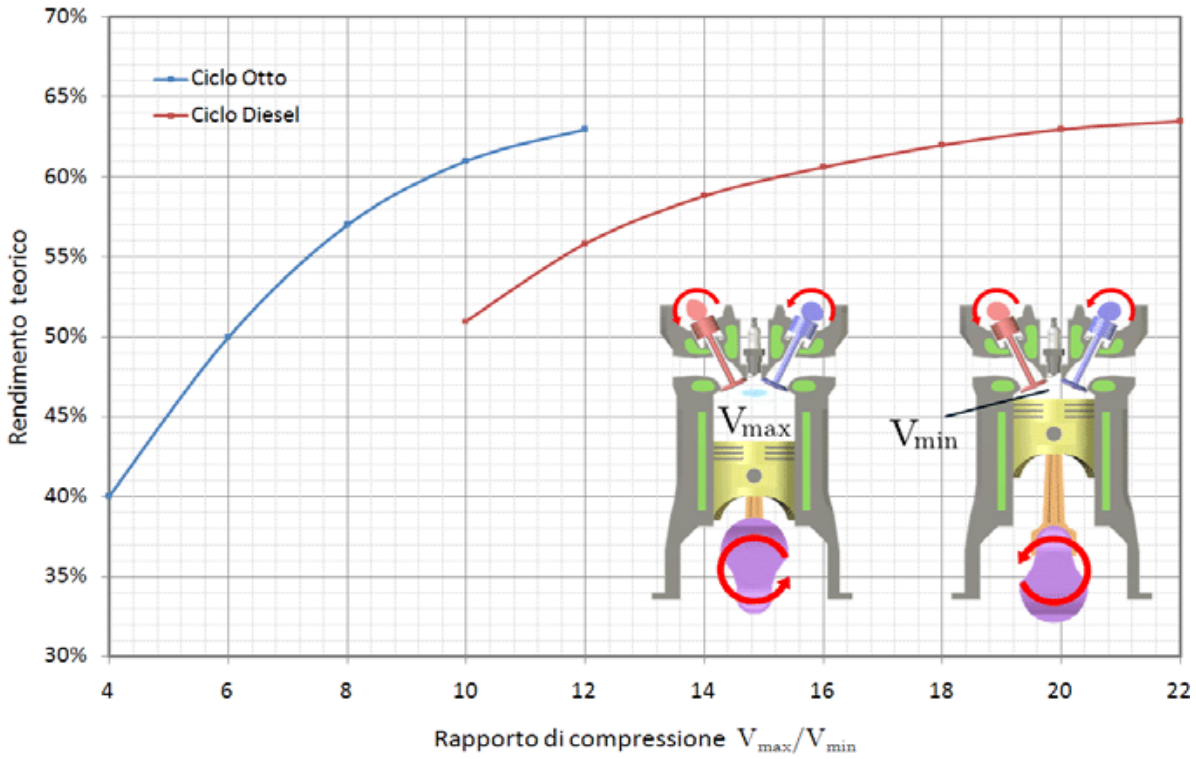

Figura 3.10 : Rendimenti teorici di Ciclo Otto e Diesel

Nella stima di un'efficienza rientrano tutti i contributi delle singole componenti del veicolo, il che, in ambito di un sistema di trasmissione ricco di organi metallici, implica notevoli dispersioni dovuti agli attriti interni. Concentrandoci su quello che è però il solo rendimento dovuto ai cicli termodinamici Otto o Diesel.

I motori alimentati a benzina sono motori ad accensione comandata, il che significa che richiedono l'innesco della combustione mediante una candela d'accensione presente nella camera di combustione. Questi motori seguono il ciclo Otto.

I motori alimentati con gasolio sono invece ad accensione spontanea e non necessitano di suddetta candela, dato che la combustione si innesca spontaneamente durante la fase di compressione (ovvero nella fase in cui i pistoni vanno dal basso verso l'alto e le valvole sono chiuse). Questa tipologia di motori segue il ciclo Diesel.

Come è noto in ambito ingegneristico, in seguito agli studi sui cicli ideali, i rendimenti energetici dei sistemi di propulsione endotermici variano a seconda del rapporto di

compressione V_{max}/V_{min} e difficilmente superano la soglia del 45%, come è possibile notare nella Figura 3.10.

Per quanto concerne i motori elettrici, i rendimenti vengono ugualmente calcolati considerando tutti gli elementi del veicolo ed il rendimento complessivo viene misurato dal rapporto fra l'energia utile sviluppato alla ruota e l'energia spesa dall'accumulatore. La Figura 3.11 illustra i rendimenti dei vari componenti di un BEV sottoposto a vari cicli di guida, analizzando sia la fase in propulsione che in frenata [20].

Come fatto precedentemente per gli ICE, è possibile notare come i singoli contributi degli elementi principali del sistema di propulsione (Batteria in verde, Inverter in rosa, Trasmissione in rosso, motore elettrico in azzurro), indipendentemente dalla fase di propulsione e frenata e/o dal livello di velocità, superi il 90%. In definitiva possiamo affermare che i motori elettrici possiedono all'incirca un rendimento doppio rispetto ai motori endotermici.

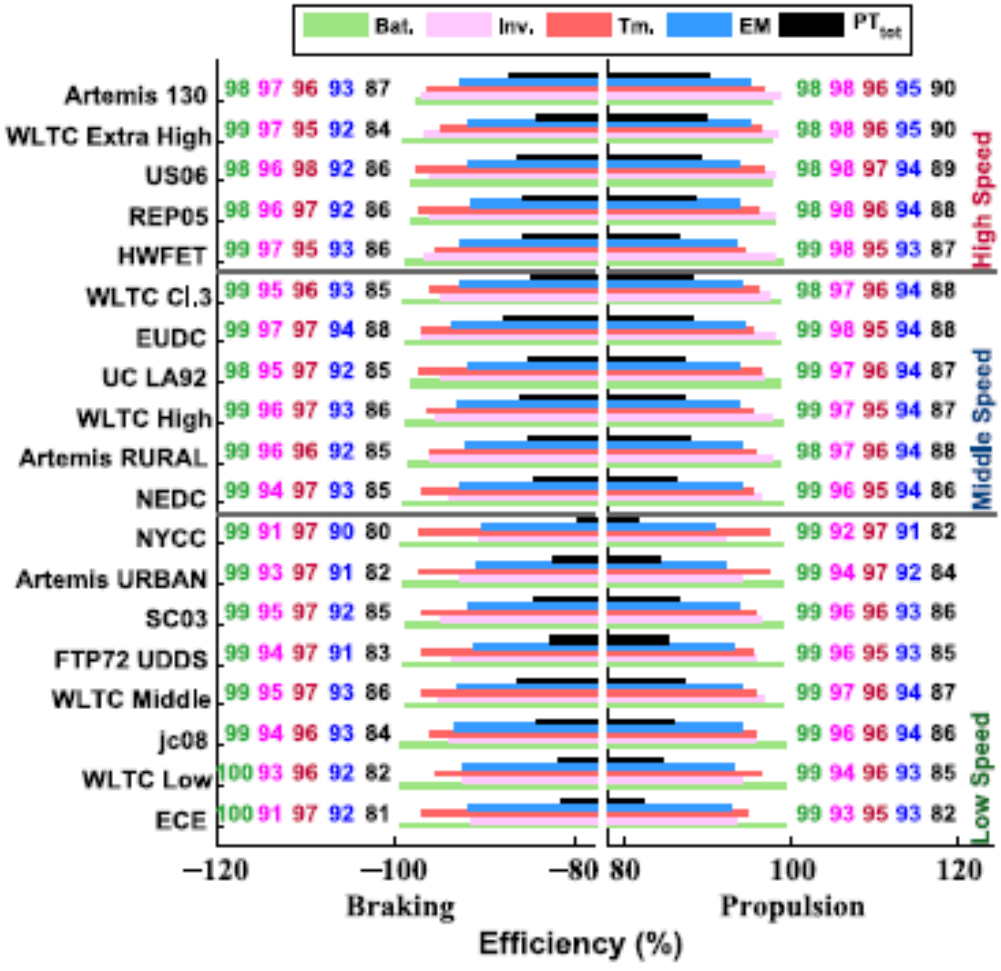

Figura 3.11 : Efficienza di un BEV sottoposto a diversi cicli di guida

Una delle principali novità, che costituisce un vantaggio tecnologico, derivata dall'utilizzo delle auto elettriche è una maggiore resa dovuta al cosiddetto freno rigenerativo. Tale freno sfrutta il primo principio della termodinamica, ovvero il

principio di conservazione dell'energia. In ambito ingegneristico è noto il concetto di energia che non si distrugge né si crea, bensì che si trasforma.

Nei veicoli a combustione interna tale processo è fortemente dissipativo, in quanto i freni a frizione dissipano l'energia cinetica convertendola in calore; contrariamente, il freno rigenerativo di un veicolo ibrido o elettrico converte l'energia cinetica legata al moto del veicolo in energia elettrica. Quest'ultimo passaggio è possibile nei motori elettrici, in quanto tali sistemi di propulsione sono in grado di girare in verso contrario, diventando a tutti gli effetti l'equivalente di una dinamo.

L'efficienza della suddetta tecnologia, non è facile da stimare con esattezza. Ciò è dovuto al fatto che per sfruttare appieno il freno rigenerativo bisognerebbe utilizzare il meno possibile il pedale del freno a frizione. Per far ciò il guidatore dovrebbe quindi smettere di accelerare ben prima del punto in cui desidera fermare l'auto, lasciando al motore elettrico il compito di recuperare energia invertendo il suo moto rotazionale ed azionare, solo alla fine, il freno tradizionale. Come facilmente intuibile, lasciare decelerare l'auto non è sempre possibile, soprattutto se consideriamo un contesto urbano.

La guida in città è spesso caratterizzata da brevi accelerazioni e brusche frenate, per via di:

- traffico elevato
- semafori o segnaletica stradale
- dossi artificiali
- attraversamenti pedonali

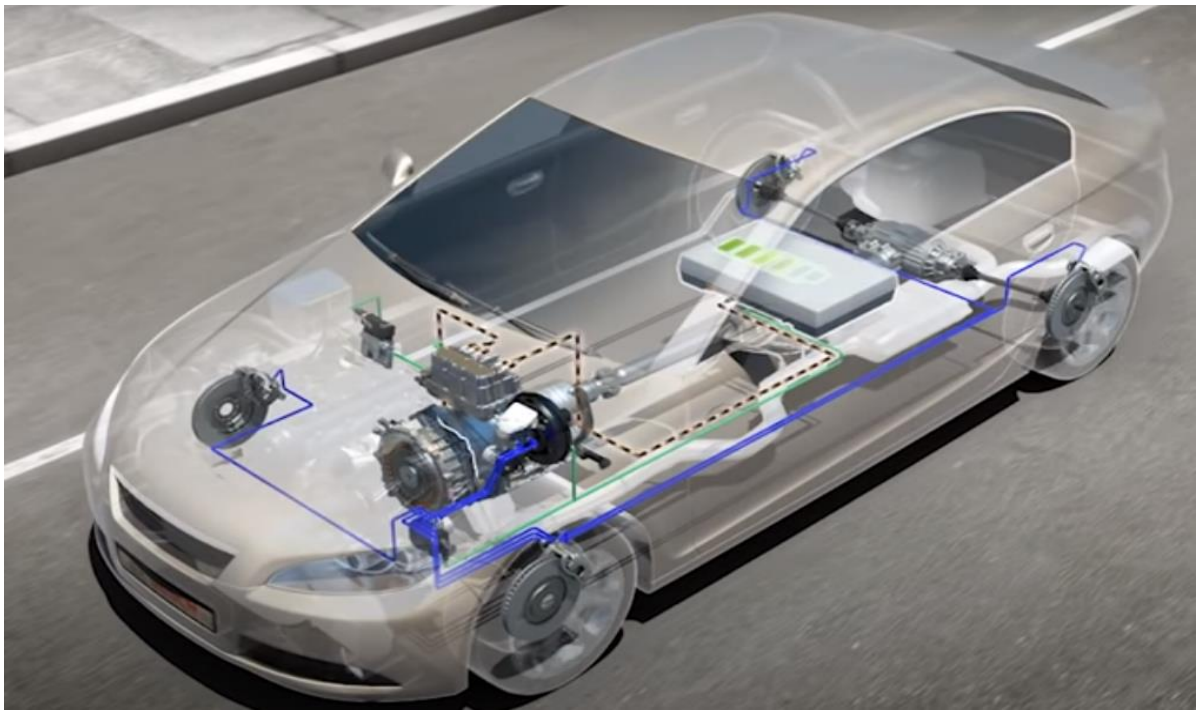

Figura 3.12 : Funzionamento del freno rigenerativo

Peraltro questi motivi sono alla base anche dell'immissione sul mercato di altre applicazioni che forse sono più idonee allo stile di guida urbano e che consentono di risparmiare energia, come ad esempio il sistema start and stop. Far rendere al meglio il freno rigenerativo non dipende dunque dal solo guidatore, ma anche dal contesto in cui l'auto viene guidata.

La comparazione vede dunque, in termini di efficienze tecnologiche, in netto vantaggio le automobili elettriche. Ciò nonostante non sono questi gli unici parametri da tenere in considerazione al momento della scelta dell'auto visto che, ad esempio, un veicolo ICE gode di maggior autonomia rispetto ad un BEV.

Per considerare mediamente l'autonomia della prima tipologia bisogna considerare il potere calorifico inferiore di benzina e gasolio che ammontano rispettivamente a 12,2 kWh/kg e 12,7 kWh/kg. Prendendo come esempio un serbatoio di circa 40 L e le densità delle due miscele (rispettivamente 0,72 kg/L e 0,835 Kg/L) e comparandole con la capacità massima di una batteria media (50 kWh) otteniamo quanto segue.

	PCI [kWh/Kg]	Densità [Kg/L]	PCI [kWh/L]	Volume Serbatoio [L]	Capacità massima [kWh]
Benzina	12,2	0,720	8,78	40	351,2
Gasolio	12,7	0,835	10,60	40	424,18
Elettrico	-	-	-	-	50

Tabella 3.2 : Comparazione di capacità energetica fra diversi tipi di alimentazione

Per cui a conti fatti i ICE riescono ad immagazzinare nel serbatoio una quantità di energia circa 8 volte superiore a quella contenuta in una batteria da 50 kWh dalle dimensioni medie [21]. Nonostante questo valore risulti molto elevato non significa che le auto elettriche abbiano un'autonomia di 8 volte inferiore, anzi, come anticipato mediamente raggiungono i 350/400 km di autonomia. Se consideriamo poi che un'auto tradizionale percorre approssimativamente (stima ottenuta utilizzando una simulazione del ciclo extraurbano) 20 km con 1 L [26], avremo circa 800 km di autonomia con un serbatoio di 40 L. Dunque un'autonomia all'incirca doppia rispetto al caso BEV. Ciò evidenzia una volta di più come i BEV siano più efficienti, oltre ad avere un costo di ricarica inferiore, visto che il costo dell'elettricità è inferiore a quello dei carburanti.

Tutti questi parametri evidenziano ancora di più come il passaggio all'elettrico è naturalmente conveniente, a meno di particolari necessità quali elevata autonomia del veicolo e velocità di rifornimento, che ammonta a pochi minuti rispetto alla ricarica delle batterie.

3.4 Sostenibilità ambientale

Il tema della sostenibilità ambientale è tutt'oggi fonte di divisione. Non per tutti lo smaltimento delle batterie al litio è così semplice come appare. Per comprendere meglio come è possibile riciclare gli accumulatori al litio è necessario analizzarne nel dettaglio la struttura interna, per capire in che modo gestire i materiali di cui sono costituiti.

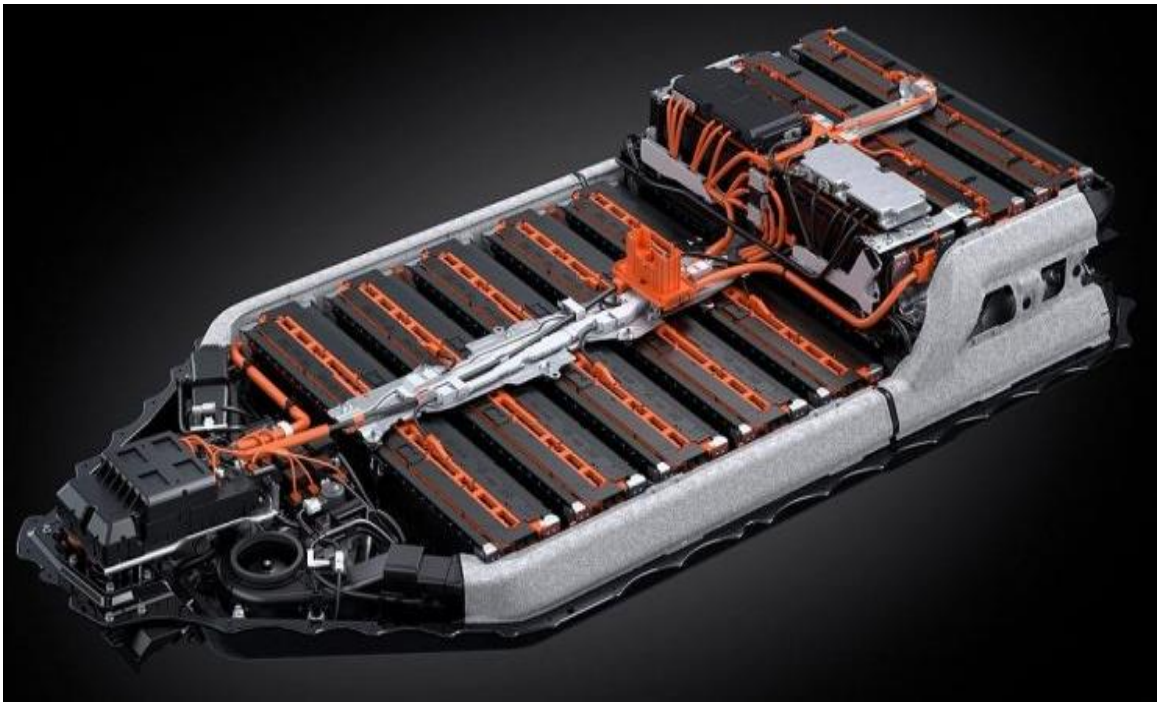

Figura 3.13 : Batteria al litio impiegata nei BEV

Fino a questo momento non abbiamo analizzato le batterie, per cui una premessa sulla tipologie attualmente in commercio e che vengono utilizzate principalmente nei BEV, è doverosa.

Il principale motivo per cui le batterie al litio vengono largamente utilizzate nei veicoli elettrici ed ibridi risiede nelle elevate potenze ed energie specifiche che queste tipologie di batterie riescono a sviluppare. Ciò è visibile nel diagramma di Ragone che compara vari tipi di accumulatori (Figura 3.14).

Gli accumulatori al litio sfruttano l'energia potenziale chimica, che viene trasformata in energia meccanica, permettendo il moto del veicolo [22]. Come facilmente intuibile tali dispositivi sono in grado di essere ricaricati, come già analizzato in precedenza, in modo che l'energia chimica venga ripristinata e lavorano in maniera ottimale in un range di temperatura che va dai -10 ai 35 C°. Si tratta di una tecnologia relativamente recente, peraltro utilizzata anche nei dispositivi mobili e fornisce prestazioni migliori (a parità di peso) rispetto ai modelli tradizionali che invece troviamo nei ICEs.

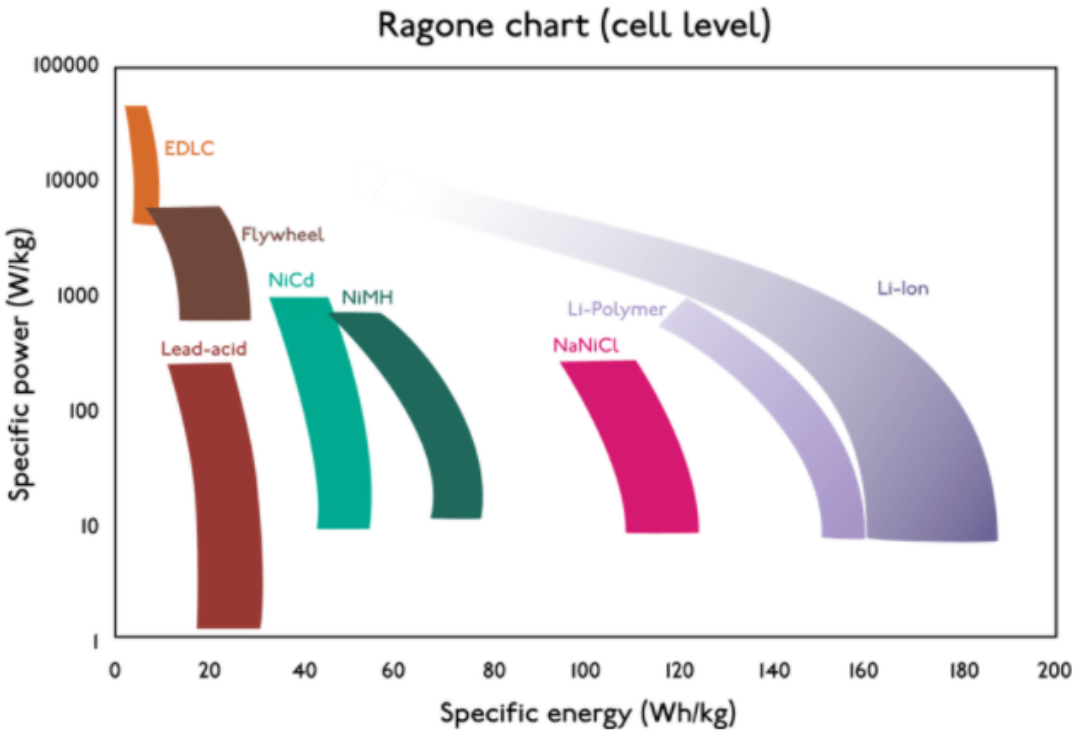

Figura 3.14 : Diagramma di Ragone
(Fonte [23])

Le batterie presentano un catodo costituito appunto da un composto di litio ed un anodo che è generalmente costituito da grafite (o alternativamente titanato di litio). Per garantire delle autonomie sempre più elevate si è sviluppata, a partire proprio dalle comuni celle appena descritte, un nuovo tipo di batterie dette accumulatori allo stato solido.

Le batterie allo stato solido differiscono fondamentalmente dalle batterie agli ioni di litio per la presenza di un elettrolita solido. Le precedenti versioni presentano invece un elettrolita allo stato liquido, generalmente un sali di litio misto ad un solvente organico.

Altre delle caratteristiche che rendono preferibile l'utilizzo della nuova tipologia rispetto alla precedente sono:

- Minor volume occupato
- Minor peso
- Miglior gestione della temperatura
- Maggior velocità di ricarica
- Maggior vita utile

Fatta questa premessa concentriamoci sullo smaltimento ed il riciclo, che tutt'oggi frenano ancora molte persone, preoccupate dall'impatto ambientale che gli accumulatori esausti potrebbero avere sull'ambiente.

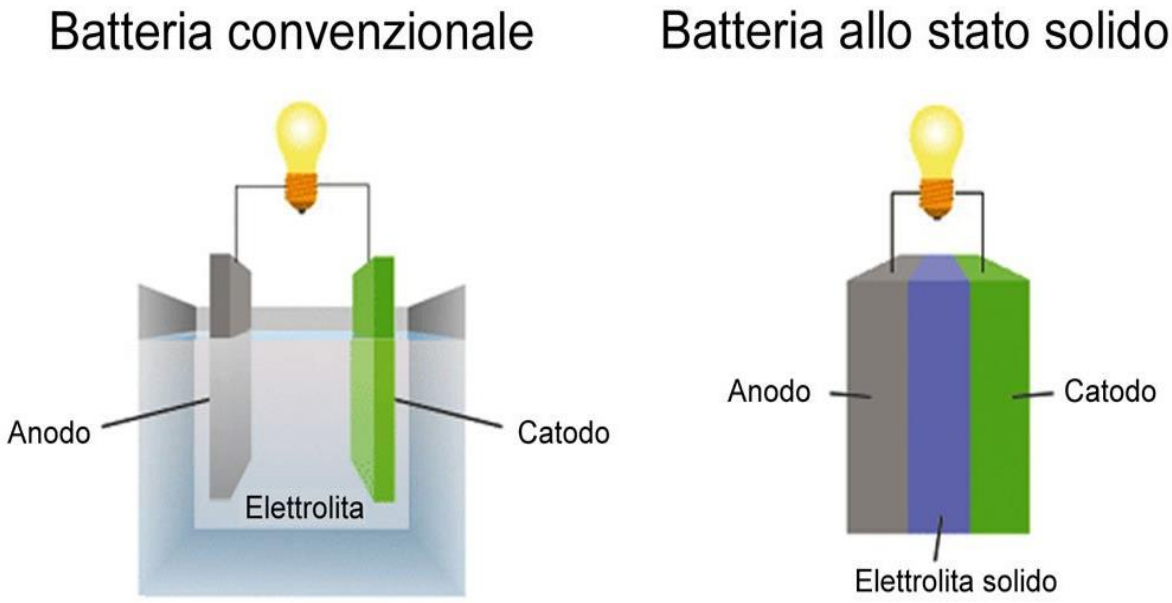

Figura 3.15 : Differenza costitutiva fra batterie tradizionali e allo stato solido

Come abbiamo già visto i produttori di batterie a livello mondiale sono pochi. La maggior parte di essi viene infatti prodotto in Cina, che è appunto leader della produzione di BEVs; ciò è dovuto a delle esclusive concessioni sulle risorse minerarie detenute dal paese asiatico. Lo smaltimento del prodotto a fine vita viene affidato a centri specializzati, che teoricamente riescono a ripristinare il 90% dei materiali. Il piano per lo riciclo rientra però in un contesto più ampio, di cui al momento però, ancora una volta, la Cina detiene quasi il monopolio.

La commissione europea tuttavia, nonostante l'ingombrante presenza delle restrizioni appena presentate, sta operando con una serie di proposte che mirano a regolamentare lo smaltimento ed il riciclo. Tali proposte rientrano nel Green Deal Europeo, ovvero un insieme di processi finalizzati a rendere l'economia dell'unione europea sostenibile dal punto di vista ambientale, per raggiungere l'agognato impatto zero entro il 2050. Il piano prevede direttive per quanto riguarda tutte le batterie e pile, fra le quali:

- Riduzione di materiali e sostanze pericolose
- Inserimento di una percentuale minima di materiale riciclato
- Utilizzo di materie prime reperite nel rispetto dell'ambiente e delle norme sociali
- Verifica dell'impronta di carbonio

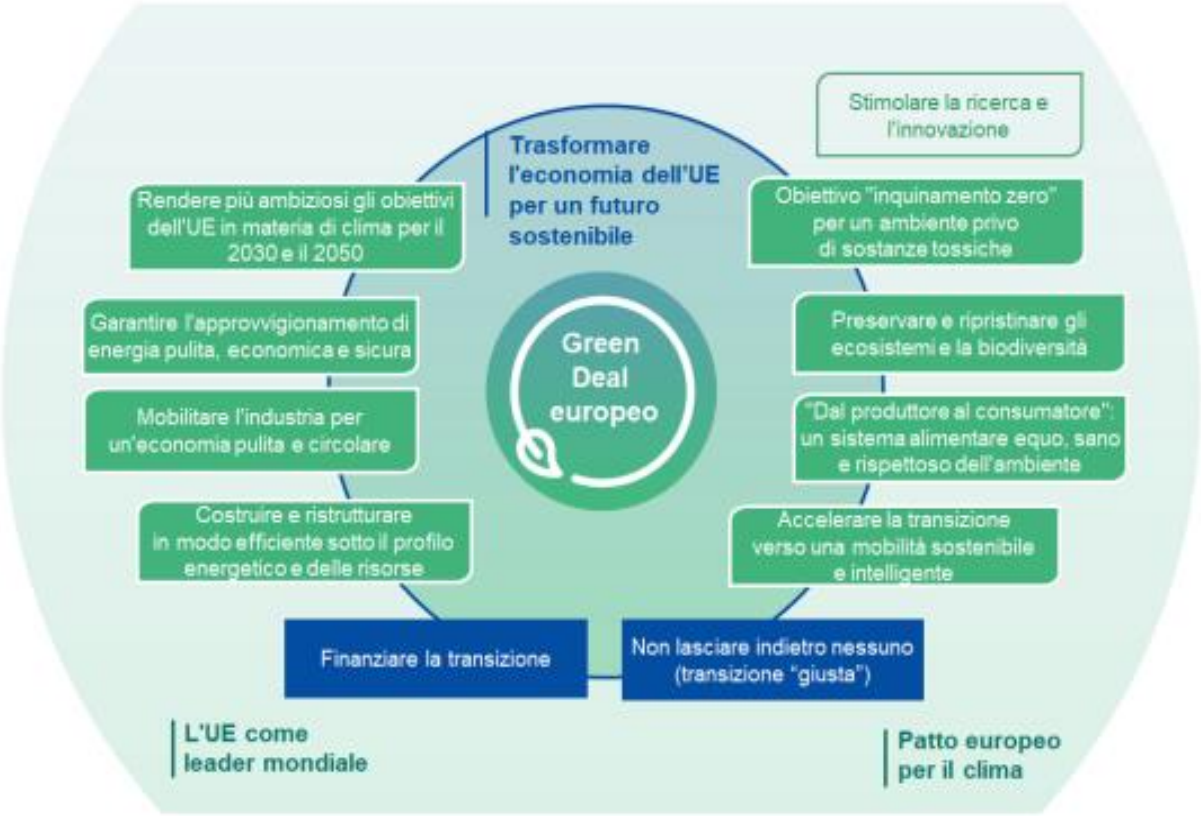

Figura 3.16 : Componenti principali del Green Deal Europeo

Riassumendo il tutto, le preoccupazioni destate dal processo di fine vita degli accumulatori sono sicuramente fondate, in quanto tutt'oggi, l'Europa stessa non gestisce suddetti processi in maniera diretta. Il problema sarebbe teoricamente risolvibile con una politica più chiara e appunto, diretta.

Da un punto di vista teorico la commissione europea sta gettando le basi per consentire un approccio più sostenibile possibile all'utilizzo di queste tecnologie, ma si tratta appunto di proposte che verranno dunque approvate solo ne i prossimi anni.

Il limite più grande è costituito dal monopolio cinese, che per i prossimi anni renderà poco chiara, agli occhi dei possibili acquirenti di BEV, la gestione di tali processi. Questo è uno dei motivi per cui molte persone oggi preferiscono il leasing, rispetto all'acquisto di un'auto elettrica, lasciando spesso al fornitore del servizio la gestione totale del veicolo dopo un certo periodo di utilizzo.

Per puntare ad una diffusione di massa dell'elettrico, intesa come una diffusione paragonabile a quella che oggigiorno si ha con i veicoli a combustione interna di proprietà del singolo cittadino, questo sarà un ulteriore tema da curare, ma si potrà agire in maniera concreta solo quando le concessioni non saranno detenute esclusivamente dalla Cina.

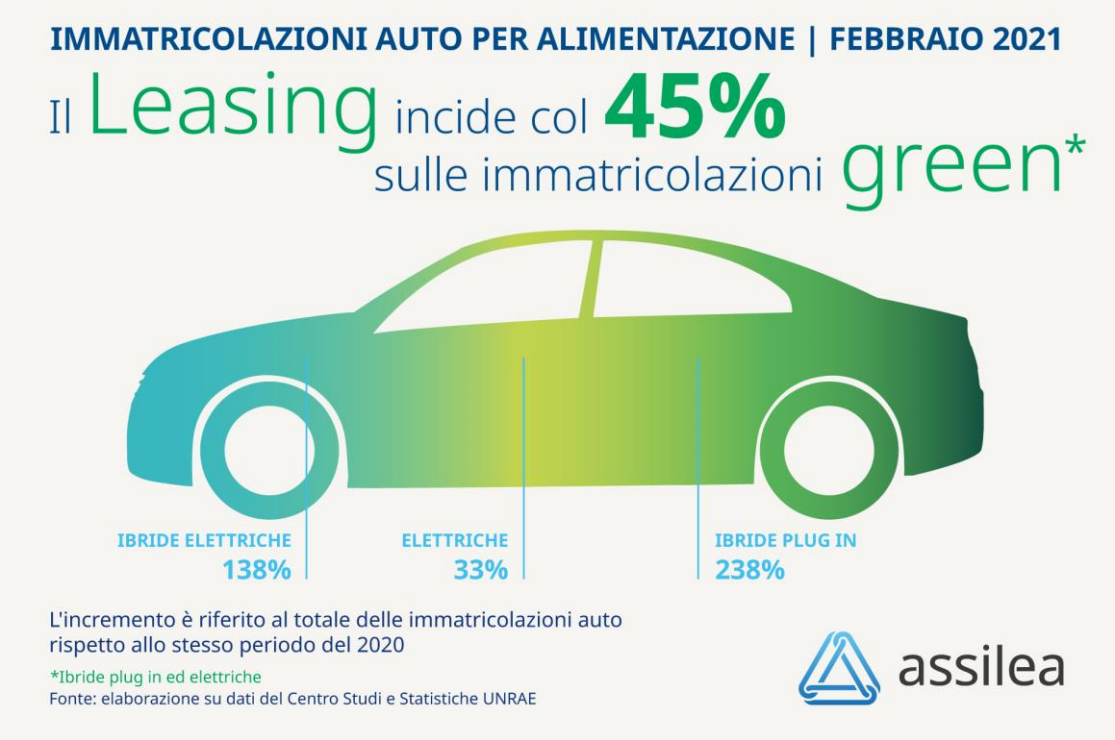

Figura 3.17 : Dati Assilea Associazione Italiana Leasing
(Fonte [24])

4 Studio sulla configurazione dei veicoli

Per poter individuare i punti in cui differiscono le varie tipologie di veicoli attualmente sul mercato, occorre analizzarne nel dettaglio le specifiche costruttive. Tale passaggio è cruciale; permette infatti di prendere in esame un caso di layout degli stabilimenti produttivi già esistenti e cercare di studiare una conversione per la produzione di veicoli puramente elettrici.

La Figura 4.1 illustra le differenze relative all'alimentazione ed evidenzia in maniera sommaria il livello di emissioni relativo.

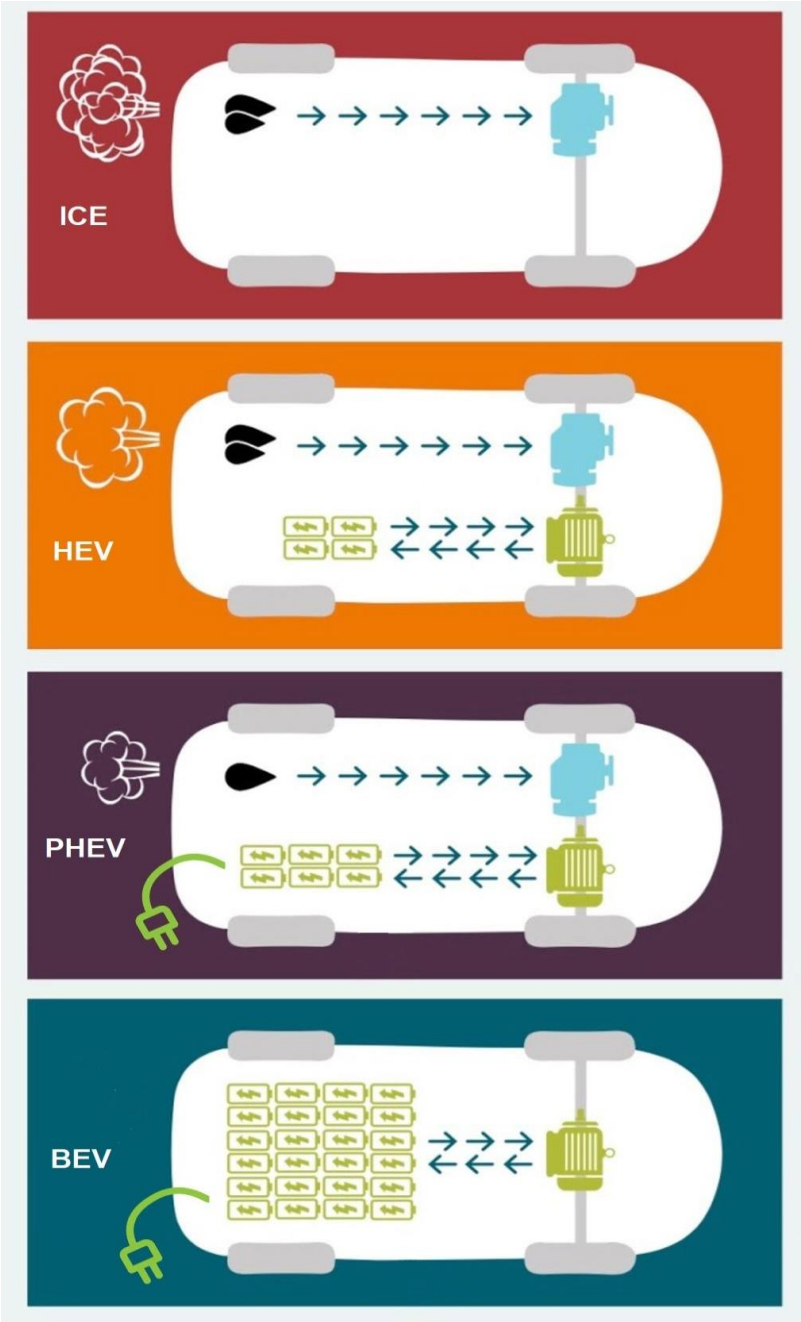

Figura 4.1 : Suddivisione dei veicoli secondo il tipo di alimentazione

4.1 Architettura veicoli a combustione interna

Impostiamo il nostro studio iniziando dai veicoli ICE (Internal Combustion Engines). Fra le architetture che andremo a presentare questa è sicuramente la più conosciuta visto che rappresenta, da circa un secolo, la tipologia più diffusa in assoluto. Fra le altre, risulta anche essere la più varia, in quanto presenta molteplici configurazioni, dovuta alla presenza o meno di diversi componenti costruttivi ausiliari.

I combustibili più diffusi vengono prodotti a partire dal petrolio e sono in larga maggioranza benzina e gasolio. I cicli termodinamici correlati a tali miscele sono rispettivamente il ciclo Otto ed il ciclo Diesel. Tale distinzione, di cui abbiamo già discusso nel capitolo precedente. non provoca tuttavia particolari differenze da un punto di vista strutturale.

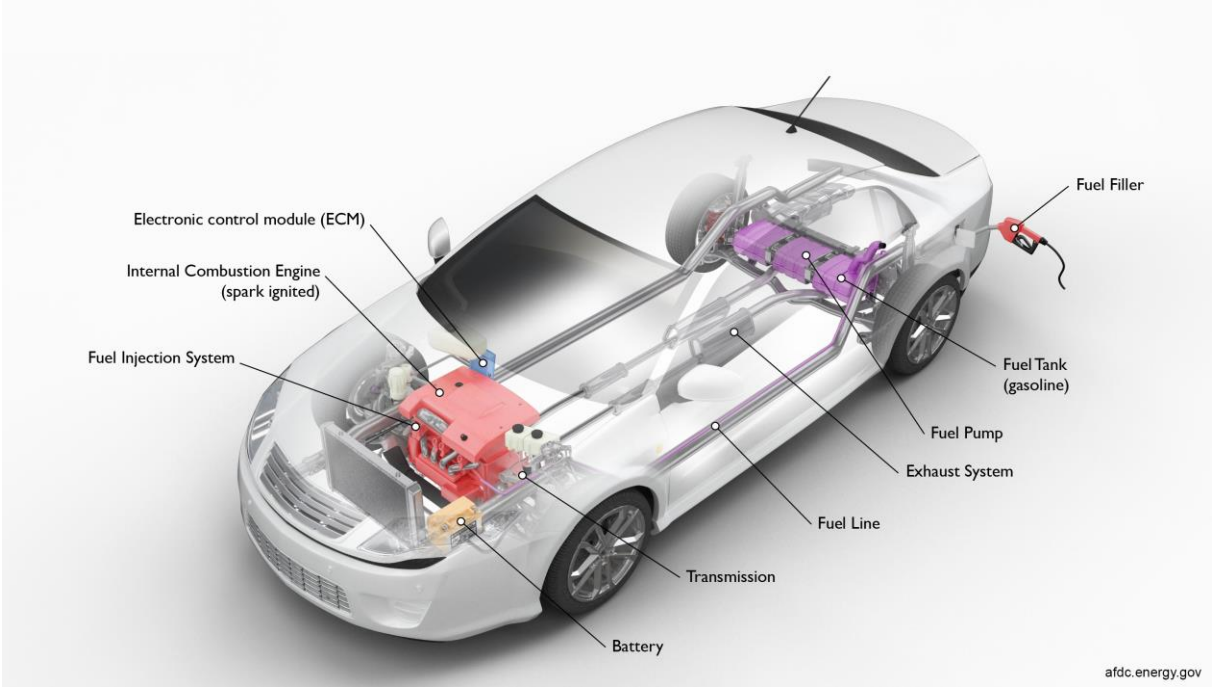

Figura 4.2 : Struttura interna di un veicolo a combustione interna

Come detto, i veicoli endotermici presentano configurazioni alternative, tuttavia i componenti principali, illustrati nell'immagine soprastante sono:

- **Ammortizzatori:** assorbono le vibrazioni dovute al moto;
- **Assi**: congiungono la trasmissione alle ruote, mettendole in moto;
- **Batteria**: responsabile della fase di accensione del veicolo, generalmente da 12 V;
- **Differenziale**: consente di affrontare le curve facendo ruotare le ruote presenti sullo stesso asse a velocità diverse;

- **Freno**: riduce la velocità mediante l'attrito;

- **Motore termico**: rappresenta il nucleo della propulsione. La combustione delle miscele che si verifica all'interno della camera di combustione provoca il movimento dei pistoni, che si collegano con la trasmissione.

  Il moto verticale dei pistoni è possibile grazie alla presenza delle valvole, che gestiscono le fasi della combustione per mezzo dell'albero a camme. Il moto verticale viene poi convertito in un moto rotativo, trasmesso all'albero a gomiti (anche detto albero motore) tramite le bielle collegate ai cilindri stessi;

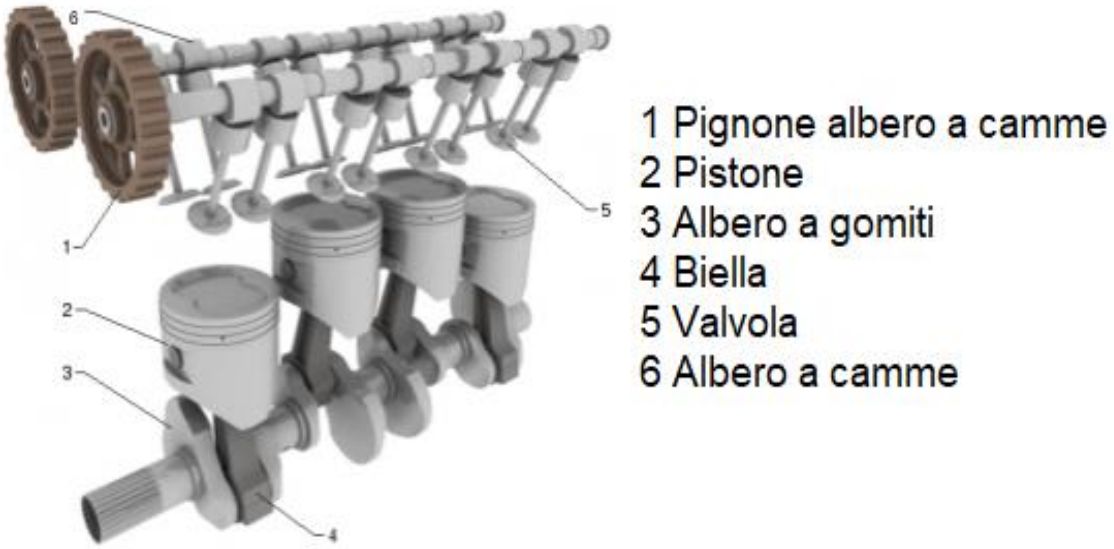

Figura 4.3 : Struttura interna di un motore termico

- **Serbatoio**: contiene il combustibile;

- **Sistema di gestione delle emissioni**: comprende convertitore catalitico, silenziatore e relativi tubi di scarico. Sono le componenti responsabili rispettivamente della gestione delle emissioni, della riduzione del rumore e dell'espulsione dei prodotti della combustione (gas di scarico);

- **Sistema di raffreddamento**: responsabile del mantenimento di una temperatura ideale per il funzionamento ottimale del veicolo;

- **Trasmissione**: blocco di ingranaggi che ha lo scopo di gestire la potenza proveniente dal motore, modificandone le caratteristiche a seconda delle fasi del moto. Contrariamente al motore elettrico, che vedremo in seguito, i motori a combustione interna hanno bisogno di un dispositivo che modifichi il rapporto di trasmissione in modo da avere una coppia variabile. Si collega all'agli assi che infine trasmettono suddetta potenza alla ruote motrici;

- **Unità di controllo elettronica (ECM)**: impropriamente conosciuta come centralina, è un sistema elettronico incorporato nel veicolo che ha il compito di monitorare tutte le operazioni effettuate dal veicolo (ad esempio somministrazione del carburante, gestione delle emissioni, ecc.);

4.2 Architettura veicoli ibridi

Una breve panoramica sulla struttura intermedia può essere utile ai fini della nostra analisi. I HEV (Hybrid Electric Vehicles) presentano una doppia unità di propulsione, costituita da un motore elettrico e da uno a combustione interna.

Essendo totalmente precisi un primo tentativo di integrazione di motore elettrico all'interno dei moderni veicoli è rappresentato dai MHEV (Mil Hybrid Electric Vehicle), anche conosciute come ibride leggere. Da un punto di vista ingegneristico, risulta la configurazione più semplice, rientrando comunque nella categoria delle ibride e godendo dunque degli stessi incentivi.

Se vogliamo, rappresenta una tipologia intermedia fra i veicoli ICE ed i veri e propri Hybrid e secondo i principali costruttori, riesce a ridurre i consumi all'incirca di un 15% rispetto ad un corrispondente veicolo ICE, con un esborso economico molto minore rispetto ad una full hybrid o ad un'elettrica.

L'architettura prevede la presenza di una batteria ausiliaria da 48 V, che affianca quella d'accensione da 12 V presente sulle vetture tradizionali. Lo scopo della batteria secondaria è quello di alimentare, normalmente azionato a cinghia, un piccolo motore/generatore elettrico che aiuta il motore endotermico nella fase iniziale del moto, fase critica a causa delle inerzie. Questo sistema si sposa molto bene con sistemi secondari come lo start and stop e permette di recuperare una discreta quantità di energia cinetica in fase di veleggiamento (fase in cui non è inserita la marcia) e decelerazione.

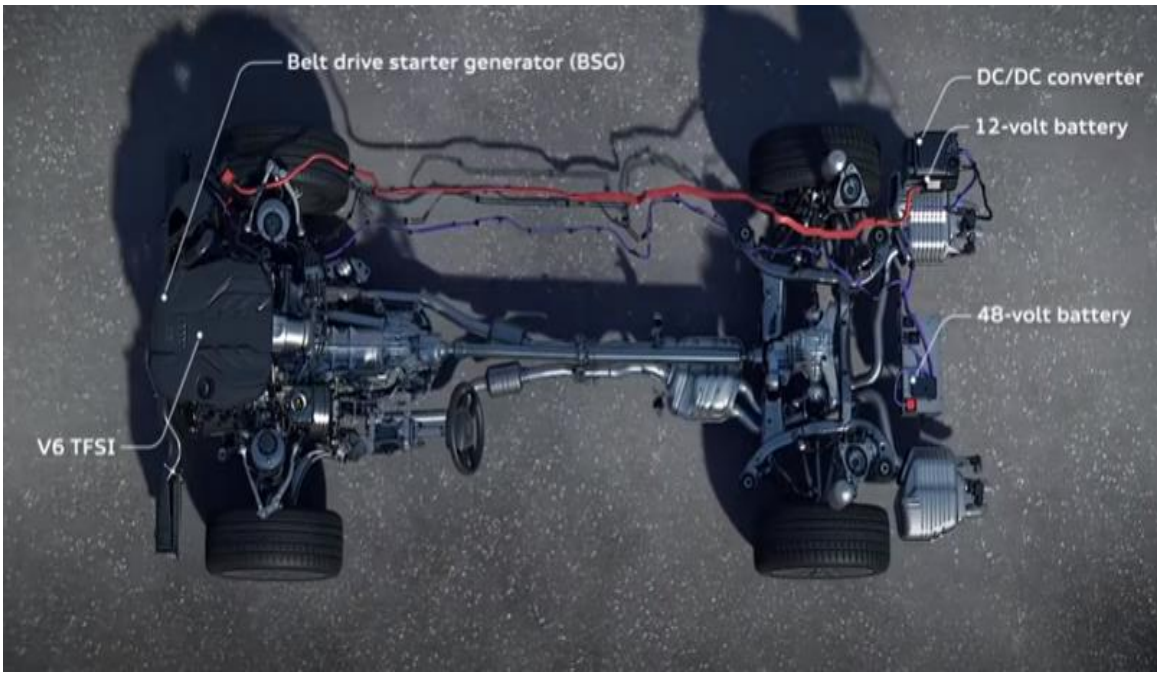

Figura 4.4 : Powertrain di un veicolo ibrido leggero

In sunto possiamo affermare che rispetto al full Hybrid, le caratteristiche delle MHEV sono:

- Complessità minore, minor manutenzione
- Prezzo inferiore
- Motore elettrico che non funziona autonomamente ma solo in aiuto al termico

Le full hybrid sono differenti da un punto di vista strutturale, soprattutto per la presenza di una batteria dotata di una capacità molto maggiore [25]. Da un punto di vista della propulsione, in questa tipologia, il motore elettrico lavora in sincronia con quello endotermico.

Rispetto al caso precedente, il motore elettrico è dunque in grado di lavorare in autonomia, fornendo ad esempio tutta la potenza necessaria per la partenza da fermo; essendo noto infatti, da un punto ingegneristico, che un motore elettrico riesce a fornire una coppia elevata sin da subito, il caso a cui abbiamo appena fatto riferimento è la fase del moto in cui il propulsore elettrico lavora meglio.

Possiamo generalizzare dicendo che per variazioni di velocità repentine la componente elettrica lavora di più, mentre invece quando sono richieste prestazioni più elevate e si assume un andamento regolare, come in autostrada, subentra la componente termica.

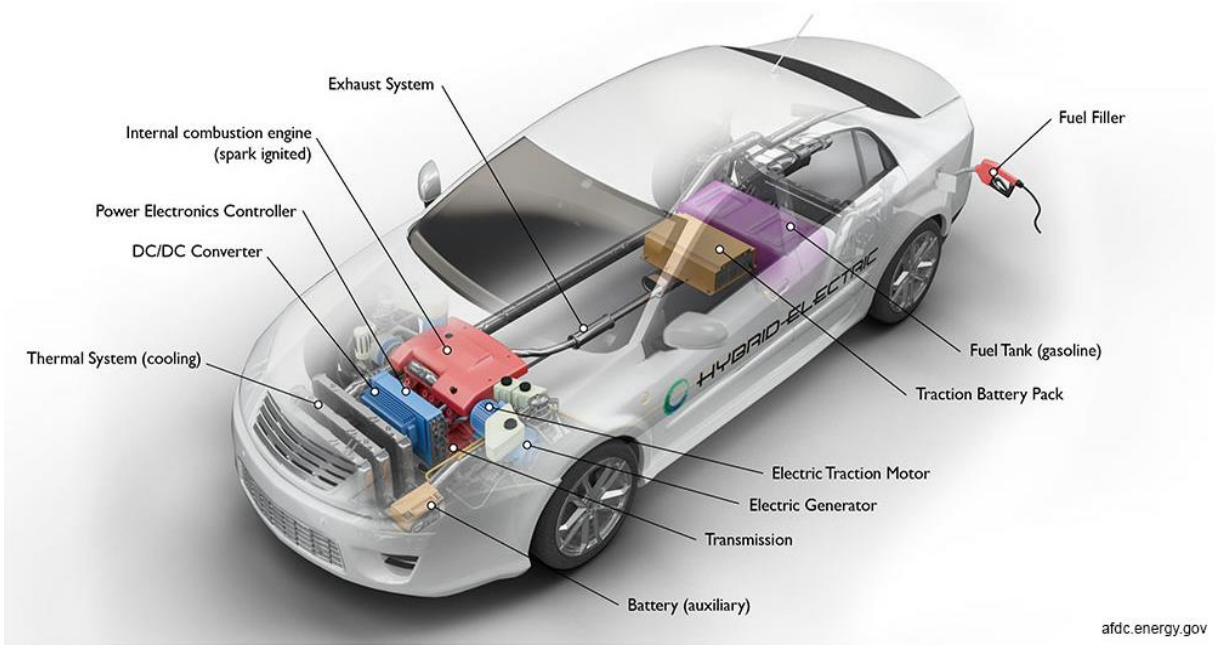

Figura 4.5 : Struttura interna di un HEV

Il lavoro sinergico dei due propulsori migliora nettamente l'efficienza complessiva del veicolo, dato che, come abbiamo evidenziato nel capitolo 3, l'utilizzo medio crescente del motore elettrico aumenta il rendimento complessivo.

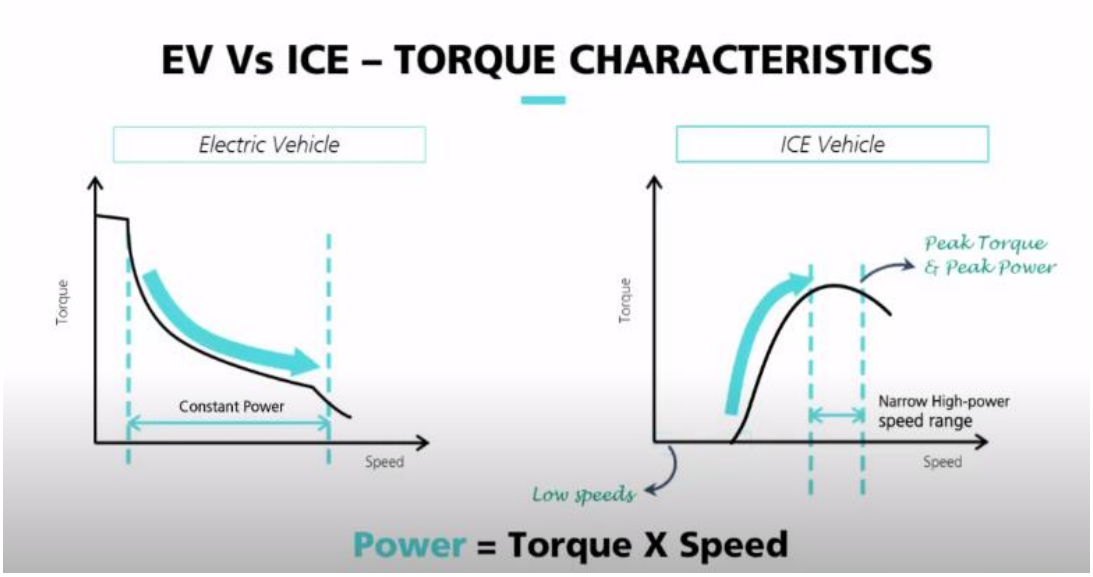

Figura 4.6 : Confronto fra coppia generata da motore elettrico e a combustione (Fonte AMPLIFY)

Di estrema rilevanza nel rendimento complessivo, è anche la coppia fornita dal motore elettrico nelle fasi iniziali del moto, che evita al motore termico di entrare in gioco per bassi regimi, fase del moto in cui consuma di più. Ciò è evidente dalle analisi delle curve caratteristiche di un motore a combustione interna.

Le curve visibili in Figura 4.7 rappresentano i valori di: potenza sviluppata, coppia motrice e consumo specifico. I valori sono in funzione del numero di giri e sono ottenute sperimentalmente su un banco di prova, rispettando determinate condizioni standard.

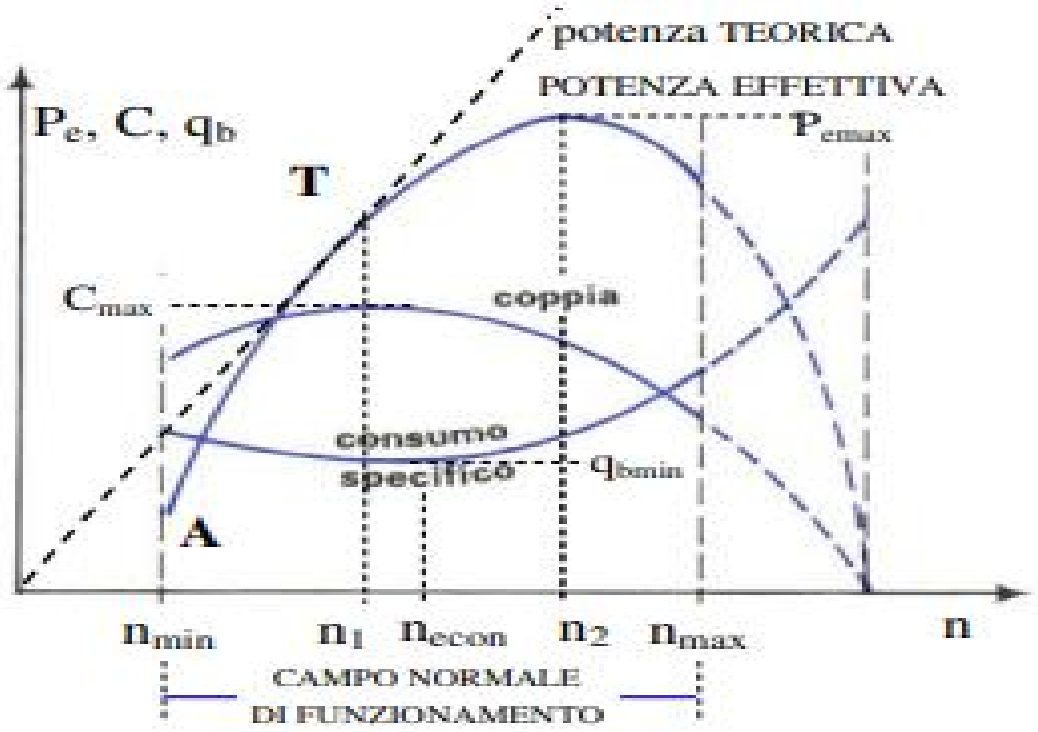

Figura 4.7 : Curve caratteristiche di un motore termico (Fonte [26])

Concentrandoci sul campo normale di funzionamento, notiamo che per un basso numero di giri n_{min}, il consumo specifico ha un valore più alto rispetto ad un numero di giri intermedio n_{econ}, segnale evidente che il motore ha un rendimento migliore per quest'ultimo valore, oltre ad inquinare di meno.

I veicoli ibridi agiscono dunque evitando di utilizzare il motore termico nelle fasi di avviamento, ma anche in quelle di frenata, in modo da poter utilizzare il freno rigenerativo di cui abbiamo già parlato in precedenza.

Quando si parla di HEV ci si imbatte spesso in una suddivisione secondo il modo in cui lavorano e si interfacciano fra loro i due motori: in parallelo o in serie. La prima tipologia rappresenta l'opzione ad oggi più diffusa, tuttavia anche la seconda risulta interessante in determinate applicazioni.

I veicoli in parallelo, sono fondamentalmente degli ibridi in cui il motore elettrico ed il termico lavorano, come suggerisce la stessa parola, parallelamente. I due propulsori lavorano indipendentemente ed entrambi sono collegati direttamente alla trasmissione e quindi in grado di mettere in moto il veicolo. In parole povere possiamo incontrare fasi del moto in cui lavora il solo motore elettrico, fasi in cui lavora il solo termico ed ancora fasi in cui lavorano sinergicamente. Come evidenziato nell'immagine successiva l'alimentazione arriva dunque dal serbatoio, dalla batteria ed eventualmente da un attacco plug-in. Generalmente il motore termico risulta essere più potente rispetto all'elettrico, per cui sono paragonabili a dei mild hybrid con un contributo elettrico più importante.

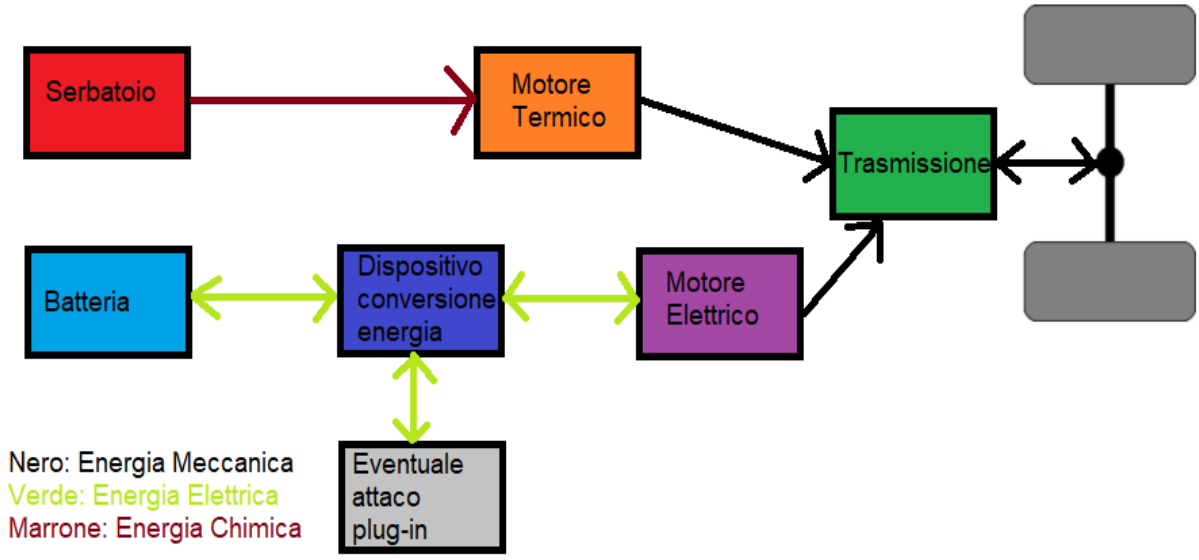

Figura 4.8 : Schema di un veicolo ibrido in parallelo

Nel caso in serie il motore meccanico non viene connesso alle ruote, per cui non è direttamente responsabile del moto del veicolo. Lo scopo del motore tradizionale è quello di alimentare, per mezzo di un generatore che trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. Anche in questo caso è possibile la presenza della porta per la ricarica elettrica

via connettore. Generalizzando si può considerare un veicolo puramente elettrico che riceve però la totale autonomia dal motore termico.

Il grande vantaggio dettato dall'ausilio di questa architettura risiede nella possibilità di far lavorare il motore termico nelle condizioni ideali di funzionamento, divincolandolo totalmente dalle condizioni di guida e utilizzando unicamente per alimentare il powertrain elettrico. Sarà poi il motore elettrico ad adattarsi alle condizioni di guida.

Un ulteriore pro dettato da tale configurazione è che si può evitare di sovradimensionare il motore termico; infatti essendo un motore che non gestisce direttamente le condizioni di guida, non si avranno particolari esigenze in accelerazione e ripresa, motivi per cui di solito si tende a sovradimensionarlo. Dall'altro punto di vista si perderà qualcosa in termini di prestazioni ad alti regimi, visto che il motore termico sarà meno voluminoso rispetto al caso in parallelo.

Rispetto al caso precedente le emissioni saranno dunque minori, ma la configurazione più complessa implicherà costi maggiori e delle perdite in termini di rendimento dovute alle multiple conversioni energetiche.

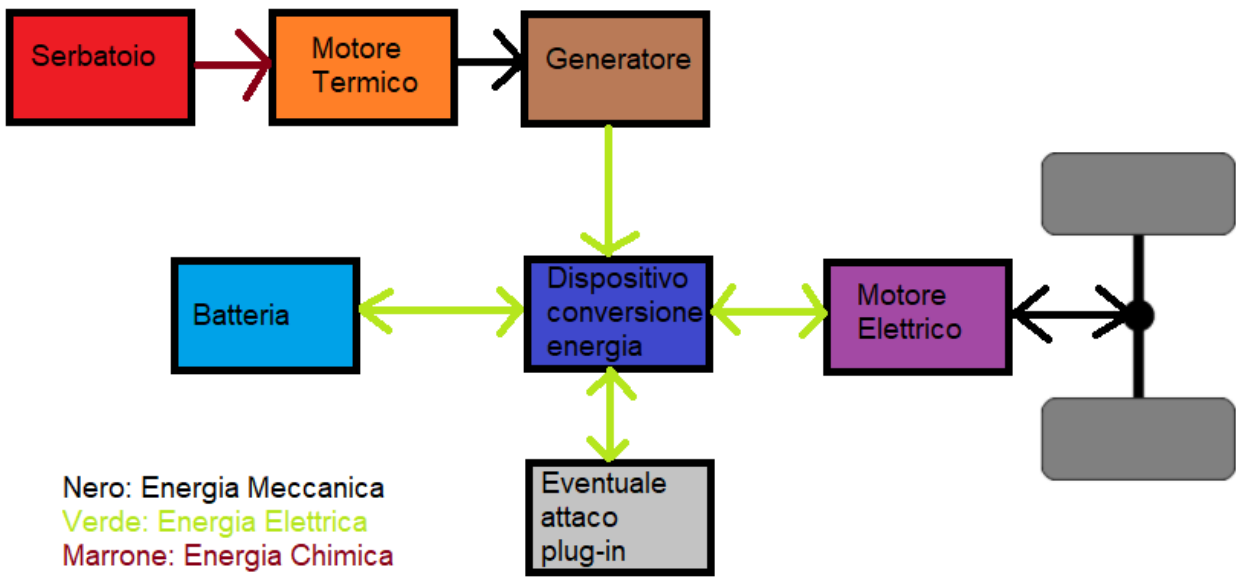

Figura 4.9 : Schema di un veicolo ibrido in serie

Da un punto di vista tecnico è possibile realizzare un sistema misto fra i due precedentemente descritto, che implica però costi maggiori.

Nelle precedenti figure abbiamo visto come in entrambe le configurazioni è possibile riscontrare un eventuale attacco plug-in. I full hybrid, sia in parallelo che in serie, ne sono per definizione sprovvisti. L'impossibilità di ricaricare la batteria di maggior capacità, legata al motore elettrico, per mezzo di un innesco elettrico, risulta tuttavia essere un grosso limite. La batteria si ricarica esclusivamente con il freno rigenerativo e riconvertendo l'energia cinetica prodotta dal motore termico. Tale problema ci porta a parlare dei veicoli plug-in.

4.3 Architettura veicoli plug-in ibridi

Proseguiamo con un ulteriore cenno su una tipologia intermedia di veicoli. I PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles) sono dei veicoli ibridi che differiscono dai comuni HEV dal punto di vista della ricarica delle batterie. Se come abbiamo appena visto i secondi hanno bisogno del motore a combustione interna, i plug-in possono farne a meno, in quanto forniti di un cavo di ricarica che permette la ricarica esterna del pacco batterie, presso wallbox o torrette di ricarica. In sintesi possiamo immaginarli come una figura intermedia fra i HEV e i BEV.

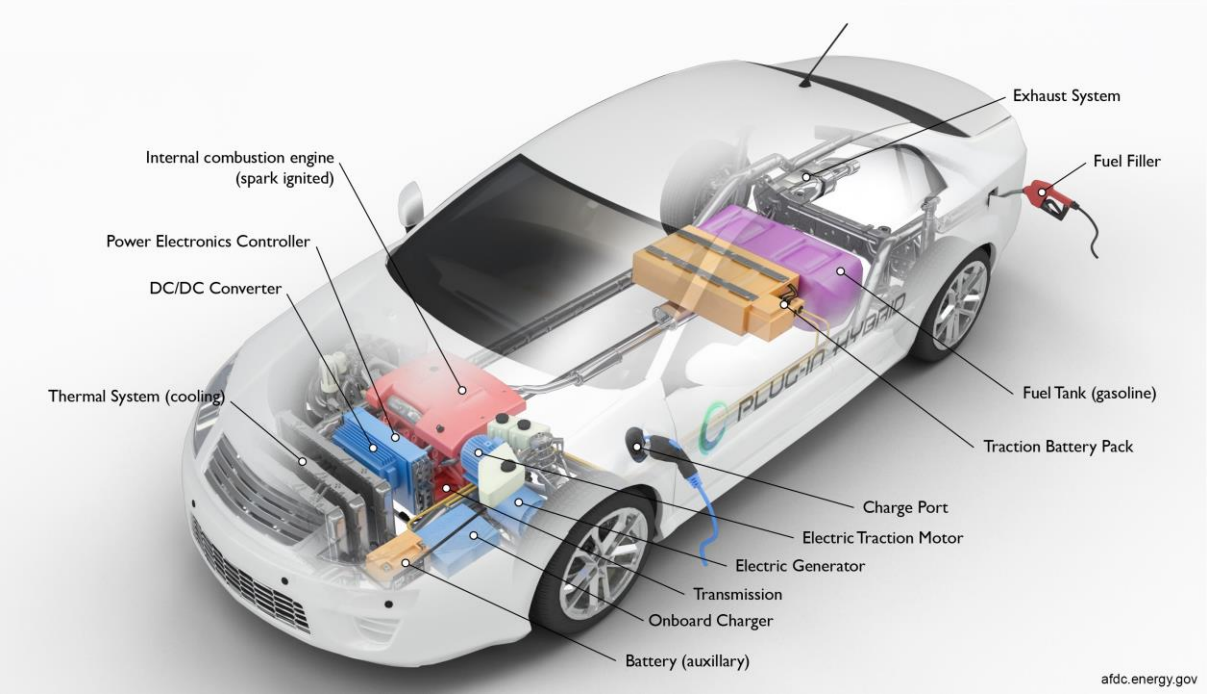

Figura 4.10 : Struttura interna di un PHEV

Come visibile nell'immagine iniziale che classifica le varie tipologie, stiamo procedendo sempre più verso autonomie crescenti del motore elettrico, dettate dalla presenza di batterie dalla capacità sempre maggiore. In questi veicoli si raggiungono anche i 70 Km di percorrenza senza bisogno di utilizzare il motore termico, per cui in città, con continue frenate e ripartenze, i PHEV possono essere considerati a tutti gli effetti veicoli completamente elettrici con un'autonomia limitata.

Avendo delle batterie più voluminose rispetto alle ibride pure, il peso aumenta ulteriormente e con esso il prezzo. Al momento rappresentano forse la tipologia più in voga sul mercato e le emissioni rientrano fra i 25 e i 50 mg/km di CO_2.

4.4 Architettura veicoli elettrici

La propulsione nei BEV (Battery Electric Vehicles) è totalmente affidata ad un sistema elettrico. Tali veicoli presentano una batteria ricaricabile di alto voltaggio disposta sul pianale, la cui capacità viene espressa in chilowattora (kWh). Diversamente da come abbiamo visto per i veicoli a combustione interna, i veicoli elettrici presentano una struttura più lineare e risultano perciò di più facile gestione. Ciò nonostante nel passaggio a questa tipologia di veicoli si riscontreranno problemi di diversa natura, che dovranno essere risolti con metodi alternativi a quelli utilizzato per gli ICE.

Contrariamente a quanto fatto per i HEV e PHEV, di cui abbiamo più che altro elencato le caratteristiche principali, procediamo con un'analisi dettagliata dei componenti dei BEV, così come fatto per i veicoli ICE.

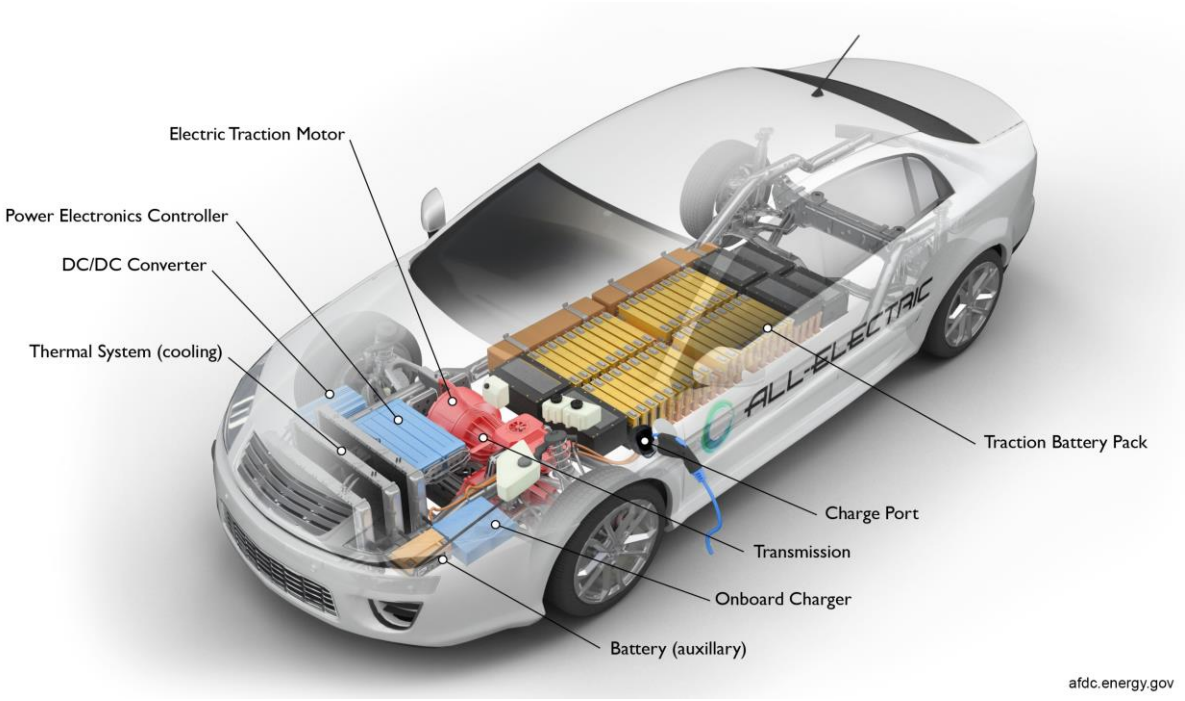

Figura 4.11 : Struttura interna di un veicolo elettrico

Nella seguente analisi dei componenti evitiamo di ripetere gli elementi in comune con i veicoli tradizionali, limitandoci ad elencare quelli che differiscono. I componenti funzionali di un veicolo full elettrico sono:

- **Batteria elettrica ausiliaria**: alimenta i dispositivi accessori;
- **Caricatore onboard**: gestisce l'energia entrante dalla porta di ricarica, convertendola da corrente alternata in corrente continua, che verrà immagazzinata nelle batterie.
- **Convertitore DC/DC**: converte la corrente continua ad alto voltaggio proveniente dal pacco batterie in corrente continua a basso voltaggio, in modo da alimentare gli accessori ed eventualmente ricaricare la batteria ausiliaria (nella Renault

Zoe, differentemente dalla Figura 4.10, esso è integrato nell'unità di controllo, risparmiando spazio);

- **Inverter**: dispositivo elettronico in grado di ricevere in ingresso una corrente continua, proveniente dal pacco batterie, in corrente alternata in uscita. Tramite lo stesso si possono variare frequenza ed ampiezza in uscita, ed è proprio in questo modo che si riesce a controllare la frequenza del motore, come vedremo a breve;
- **Motore elettrico**: macchina elettrica, composta principalmente da uno statore ed un rotore, che mette in moto le ruote per mezzo dell'energia elettrica in corrente proveniente dal pacco batterie.

  Una delle applicazioni in campo automotive, di seguito in Figura 4.12, è il motore della Renault Zoe che presenta un motore sincrono semplice, con contatti striscianti;

Figura 4.12 : Sistema di propulsione di una Renault Zoe

Dove possiamo individuare:

1. Unità di controllo elettronica
2. Statore
3. Rotore
4. Differenziale e Cambio a singola velocità

Il caso della Zoe rappresenta però un'eccezione, visto che generalmente sulla maggior parte dei BEV è montato un motore sincrono a magneti permanenti (Brushless). Per sincrono si intende un motore la cui velocità di rotazione è sincrona con la frequenza della tensione di eccitazione.

Si indica spesso con il termine brushless, letteralmente "senza spazzole", visto che sul rotore ferromagnetico non vi sono contatti striscianti, bensì coppie di

poli magnetici alternati. L'interazione fra i poli magnetici e gli avvolgimenti dello statore permette la creazione di un campo magnetico rotante.

La frequenza a cui ruota il rotore è messa in relazione con la frequenza elettrica di eccitazione e vale :

$$f_R = \frac{f_V}{p}$$

Dove:

- f_R : frequenza del rotore
- f_V : frequenza elettrica di eccitazione
- p : coppie di poli magnetici

Di conseguenza ad un crescente numero di poli, la frequenza a cui gira il motore decresce, ma aumenta la coppia motrice. La frequenza a cui gira il motore, essendo fisso il numero di coppie di poli, dipende dunque interamente dalla frequenza di eccitazione. A sua volta f_V varia tramite l'inverter, che si adatta a seconda del segnale ricevuto dal piede del guidatore sul pedale dell'acceleratore.

L'asse delle ruote, a meno di una trasmissione molto semplice di cui parleremo in seguito, è calettato direttamente sul rotore, che lo mette in moto;

- **Pacco batterie**: disposto sul pianale, ha il compito di fornire l'energia necessaria ad alimentare il veicolo, è l'equivalente del serbatoio dei veicoli ICE. La tipologia di batterie più utilizzata è, come già accennato, la batteria agli ioni di litio. Sono ricaricabili tramite l'apposita porta plug-in ma anche grazie al freno rigenerativo. La comodità dell'uso di questo insieme di batterie sta nel fatto di poterle distribuire in molteplici configurazioni, vedremo come nei paragrafi successivi;

- **Porta di ricarica**: connessione per i cavi delle torrette o delle wallbox;

- **Raddrizzatore**: dispositivo funzionalmente antitetico all'Inverter, converte la corrente da alternata a continua. Il suo compito principale è quello di riconvertire la corrente alternata proveniente dal motore quando gira in senso opposto. In questo modo la corrente d'uscita è continua e consente di ricaricare le batterie, che immagazzinano la corrente di questa tipologia.

- **Trasmissione**: direttamente collegata al motore, ben più semplice rispetto al caso ICE. Si tratta di un monomarcia a due fasi, visto che deve essere consentito il moto nei due versi di rotazione;

- **Unità di controllo elettronica**: gestisce la potenza proveniente dal pacco batterie, controllando la velocità e la coppia generate dal motore elettrico. Banalmente è l'insieme di alcuni dei componenti appena descritti, connessi fra di loro. Vediamo nella figura seguente nel dettaglio l'unita di una Renault Zoe.

Figura 4.13 : Unità di controllo elettronica di una Renault Zoe

Dove possiamo individuare:

1. Raddrizzatore
2. Convertitore DC/DC
3. Filtro d'ingresso
4. Inverter

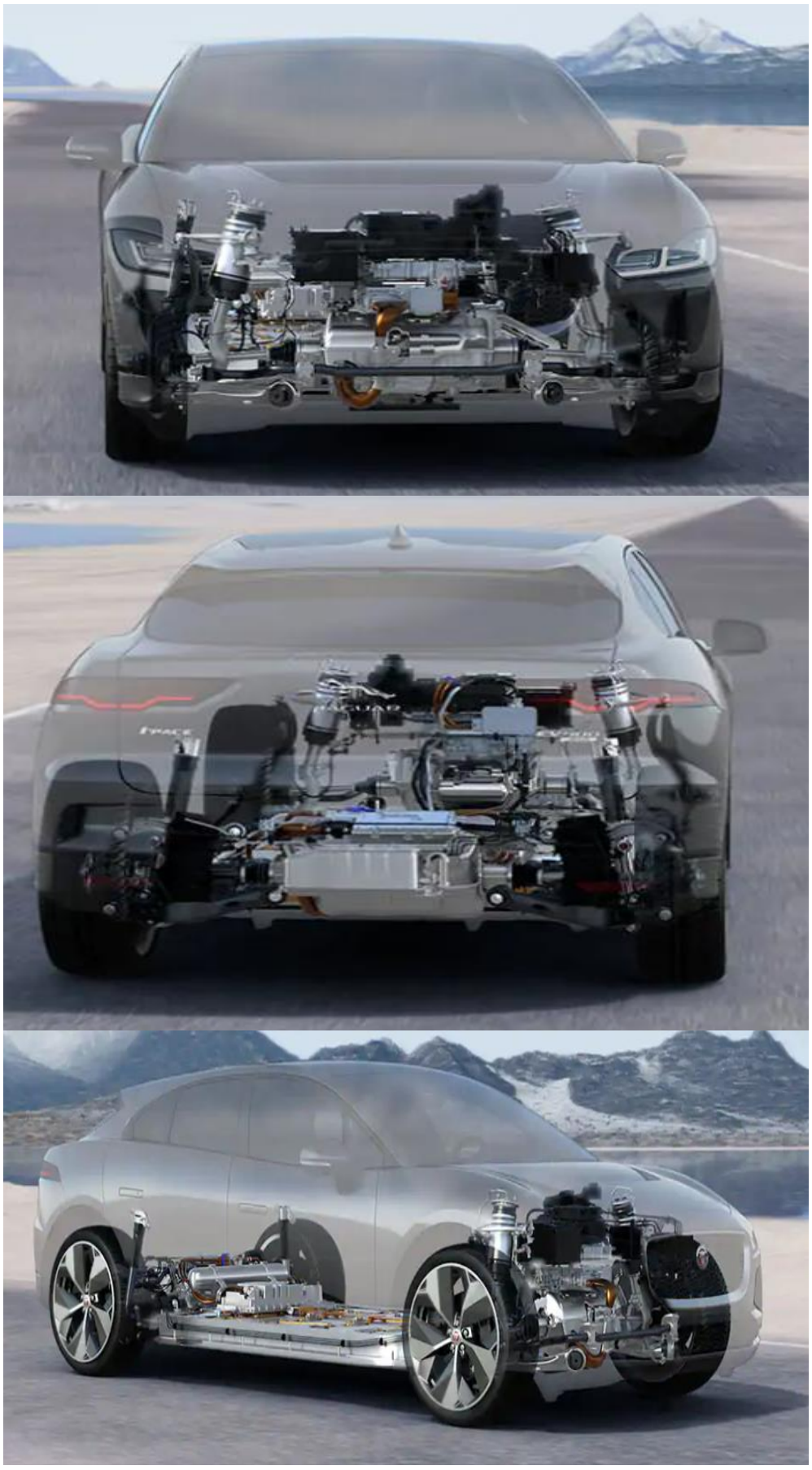

Figura 4.14 : Viste in trasparenza dei componenti di una Jaguar I-Pace

4.5 Principali differenze costruttive

Come già analizzato nei precedenti paragrafi esistono differenze costruttive fra BEV e veicoli ICE. Evidenziare come differiscono ci consentirà di apportare le dovute modifiche alla line produttiva, tenendo conto anche del processo di assemblaggio, che subirà eventualmente delle modifiche.

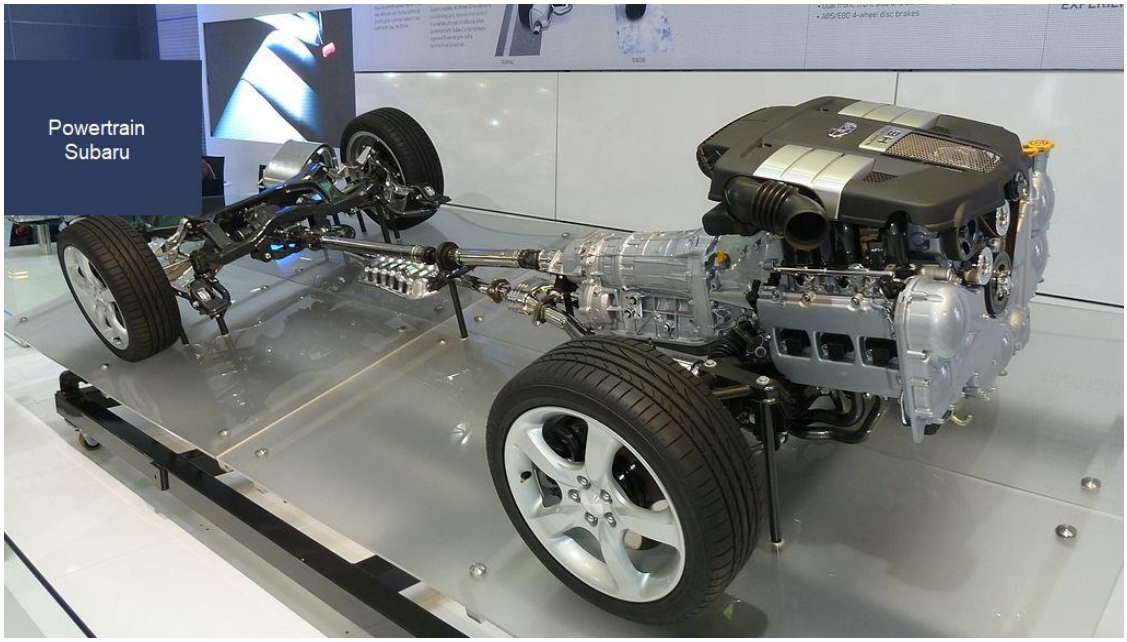

Figura 4.15 : Powertrain di un veicolo ICE

Rispetto ad un BEV, un veicolo ICE, risulta più complesso da un punto di vista strutturale, come possiamo notare soprattutto dal paragone fra le parti posteriori dell'immagine precedente e della seguente.

Gli elementi principali del powertrain dei veicoli tradizionali sono il motore termico, la trasmissione, l'albero di trasmissione ed il sistema di gestione delle emissioni. Per quanto riguarda l'elettrico invece gli elementi peculiari sono motore elettrico, pacco batterie e unità di controllo, non avendo alcun tipo di emissione, non presentano ovviamente un sistema per la loro gestione [27].

La disposizione dei motori può essere molto diversa, in particolare sui veicoli ICE la scelta è spesso univoca, in quanto spesso e volentieri i motori non sono a quattro ruote motrici. Nei BEV è invece più facile trovare due motori, uno anteriore ed uno posteriore, essendo di dimensioni più limitate.

Il veicolo elettrico presenta una quantità inferiore di organi meccanici, dato che la trasmissione del moto viene gestita dall'inverter. Ciò è evidente nella comparazione fra le due trasmissioni, dato che nei veicoli ICE è prevista una trasmissione ben più complessa, con un cambio a più rapporti.

Un ingombro ben più importante è presente nella parte centrale della seconda configurazione, dove risiede il pacco batterie dei BEV. Nel processo di montaggio risulterà uno dei punti critici, soprattutto perché dotato di un peso notevole.

Figura 4.16 : Powertrain di un BEV

Sebbene non abbiamo analizzato nel dettaglio la configurazioni dei cablaggi elettrici fra le due configurazioni, è facile intuire come, in presenza di più elementi elettrici quali batterie e attacco plug-in, la configurazione BEV risulti più complessa, dovendo consentire l'interconnessione fra di essi. Non sempre però le architetture BEV sono le più complesse, perché spesso la complessità dipende anche dagli optional. In Figura 4.17 vediamo una Bentley Bentayga, auto ICE di lusso.

Figura 4.17 : Complesso cablaggio della Bentley Bentayga

Anche il sistema di raffreddamento presenta varie differenze, avendo a che fare con elementi del powertrain molto diversi fra loro. Sebbene abbiamo a che fare con due sistemi, uno termico ed uno elettrico, non significa che le gestione della temperatura sia più critica nel motore termico. Come abbiamo già visto infatti, le batterie al litio risultano particolarmente pericolose se sottoposte ad elevate temperature, per cui anche in fase di ricarica sarà necessario un'azione da parte del sistema di raffreddamento. Per quanto già detto e per la presenza di elementi critici come lo stesso attacco plug-in e unità di controllo elettronica, anche nei BEV il sistema per la gestione della temperatura ricopre una particolare rilevanza.

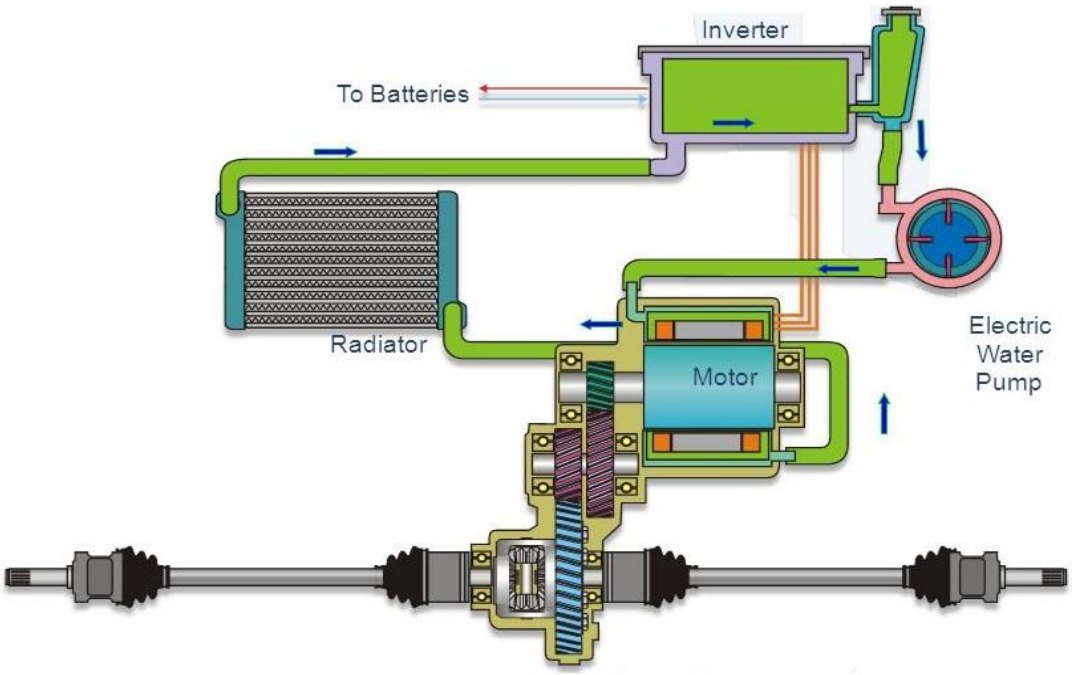

Figura 4.18 : Schematizzazione del sistema di raffreddamento in un BEV

4.6 Scelta dei materiali e gestione del peso

La presenza del pacco batterie, generalmente disposto lungo il pianale dell'automobile, rende necessari degli adattamenti. Il peso delle batterie si attesta generalmente, a seconda della capacità delle batterie stesse, fra i 300 e i 500 kg. Si tratta dunque di cifre non indifferenti, considerando che mediamente le utilitarie pesano dai 1000 ai 2000 kg.

La gestione del peso, nella conversione di un veicolo alla sua versione elettrica, deve comunque consentire di rientrare in determinati parametri progettuali. Ciò sarà possibile grazie all'utilizzo di materiali diversi da quelli utilizzati per gli ICE. Vediamo quindi quali sono i materiali più diffusi in ambito automobilistico.

Sin dall'introduzione delle automobili, l'acciaio ha rappresentato il materiale più comune in ambito automobilistico. Esso rappresentava infatti il miglior compromesso da un punto di vista economico e strutturale, consentendo all'auto prestazioni soddisfacenti. Da un punto di vista ingegneristico bisogna però distinguere gli acciai a seconda della loro tipologia.

Figura 4.19 : Confronto di materiali fra auto di diversa fascia di prezzo

Nelle auto di fascia bassa è prevalente un acciaio meno pregiato, come un mild steel, ovvero un acciaio non legato dalle buone caratteristiche meccaniche e con un tasso di carbonio fra lo 0,05 ed il 0,25%. Contrariamente in un'auto di fascia media sarà più probabile la presenza di HSLA (High Strength Low Alloy), che grazie alla presenza di elementi legati (prevalentemente Manganese), riescono a garantire le stesse proprietà di un acciaio al carbonio con una notevole riduzione in peso. Nelle auto di fascia alta, come vediamo nella Figura 4.19, prevale invece l'utilizzo delle leghe di alluminio [28].

La svolta arrivò con la Lotus Elise. La spider biposto della casa britannica fu infatti la prima auto con un telaio in alluminio. L'utilizzo dell'alluminio consentì una riduzione della massa a beneficio delle prestazioni (nonostante un motore non eccessivamente voluminoso), pur mantenendo delle ottime caratteristiche meccaniche. L'Elise costituiva

tuttavia un modello di fascia media, non accessibile a tutti e dall'impronta fortemente sportiva.

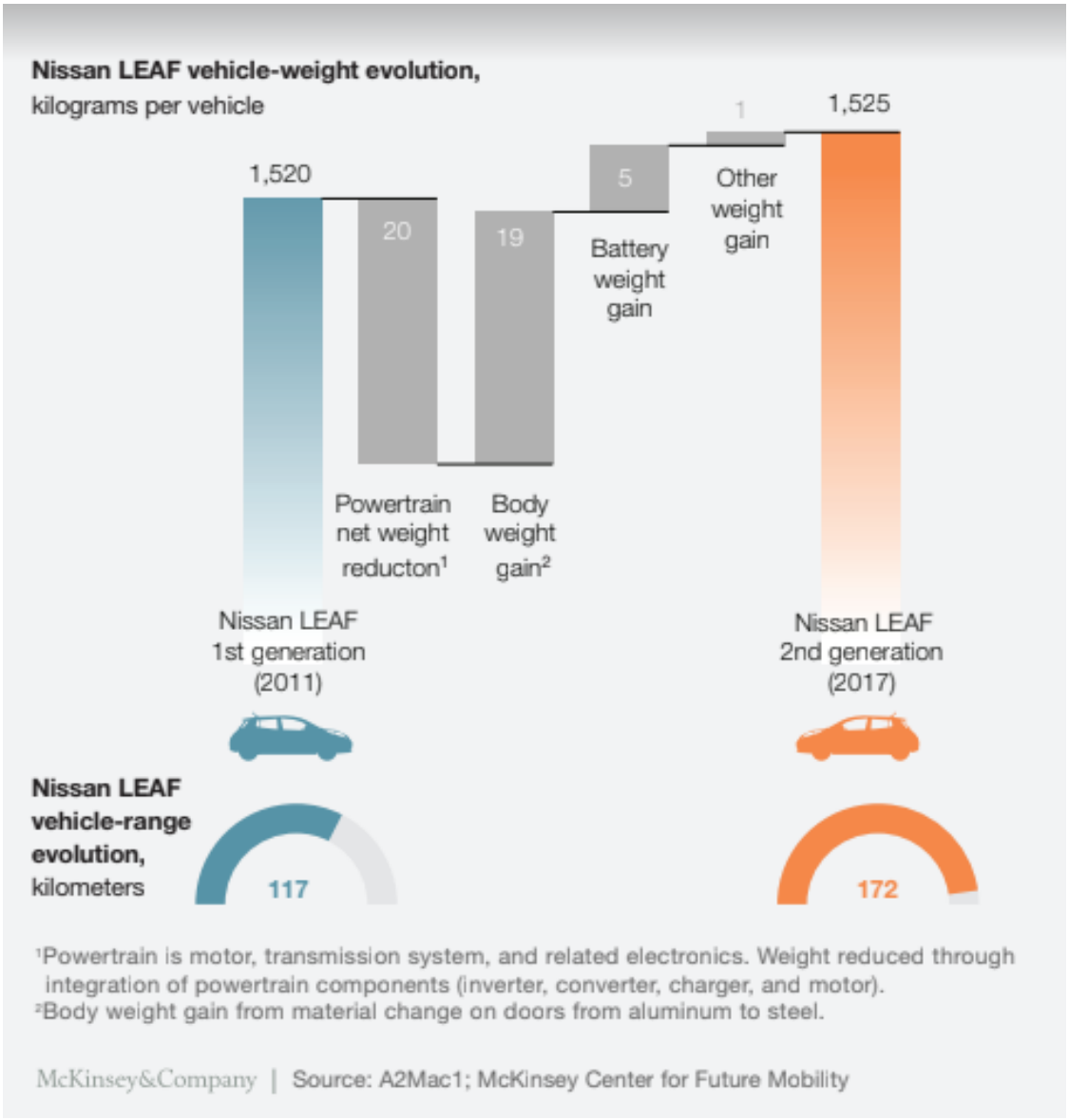

Figura 4.20 : Influenza dei materiali sull'evoluzione della Nissan Leaf

Nella Figura 4.20 si evidenzia come i materiali giochino un ruolo fondamentale sull'evoluzione dei veicoli elettrici. Nello specifico si tratta dell'evoluzione della Nissan Leaf, ovvero una delle BEV nipponiche più vendute di sempre. Nella Leaf un aumento del peso di soli 5 chilogrammi ha permesso di aumentare l'autonomia da 117 a 172 chilometri. Ciò è ovviamente stato possibile grazie a studi sui materiali, integrazione di diversi componenti e ad una diminuzione dei costi medi delle batterie nella finestra temporale che va dal 2011 al 2017.

In sunto la prassi prevede l'integrazione dei componenti dalle vetture costituiti da diversi materiali, come suggerisce la Figura 4.21. In tal caso si tratta ancora di una vettura di fascia medio/alta, in cui le prestazioni hanno una certa rilevanza.

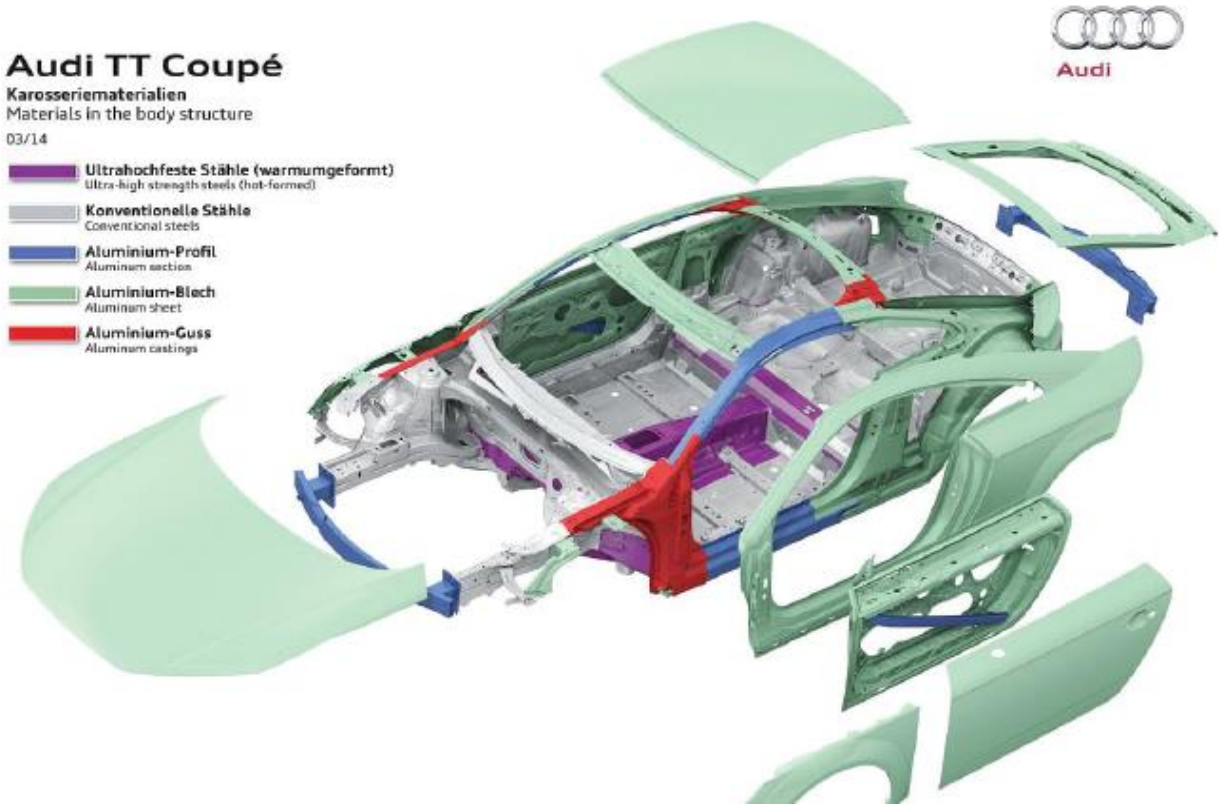

Figura 4.21 : Componenti integrati di una Audi TT in Acciaio ed Allumino (Fonte: Audi MediaServices)

L'alluminio è utilizzato prevalentemente per i pannelli esterni, cofano e tetto. Notiamo inoltre come alcuni degli elementi strutturali critici, per la protezione dagli urti frontali e laterali, siano anch'essi in alluminio.

L'acciaio viene invece utilizzato, come nel caso della Cadillac, per le parti strutturali più ingombranti quali le parti del pianale ed i vani, anteriore e posteriore.

Una soluzione largamente diffusa in ambito automobilistico, come già abbiamo accennato, prevede l'utilizzo di due famiglie di acciai: gli High Strength Steel (HSS) e gli Advanced High Strength Steel (AHSS). Si tratta di acciai dalla particolare composizione chimica che riescono a raggiungere proprietà meccaniche migliori rispetto agli acciai non legati. L'utilizzo di tali materiali consente di ridurre le sezioni dei componenti, andando a ridurre il peso dei veicoli, contenendo i costi (si noti in Figura 4.20 l' utilizzo nel BIW della Chevrolet).

Fra gli HSS rientrano acciai quali: Bake Hardening (BH), High Strength Interstitial Free (HSIF) e High Strength Low Alloyed (HSLA).

Gli AHSS includono invece: Complex-Phase (CP), Dual Phase (DP), Ferritic-Bainitic (FB), Formed (HF), Martensitic (MS or MART), Transformation-Induced Plasticity (TRIP), Hot- and Twinning-Induced Plasticity (TWIP).

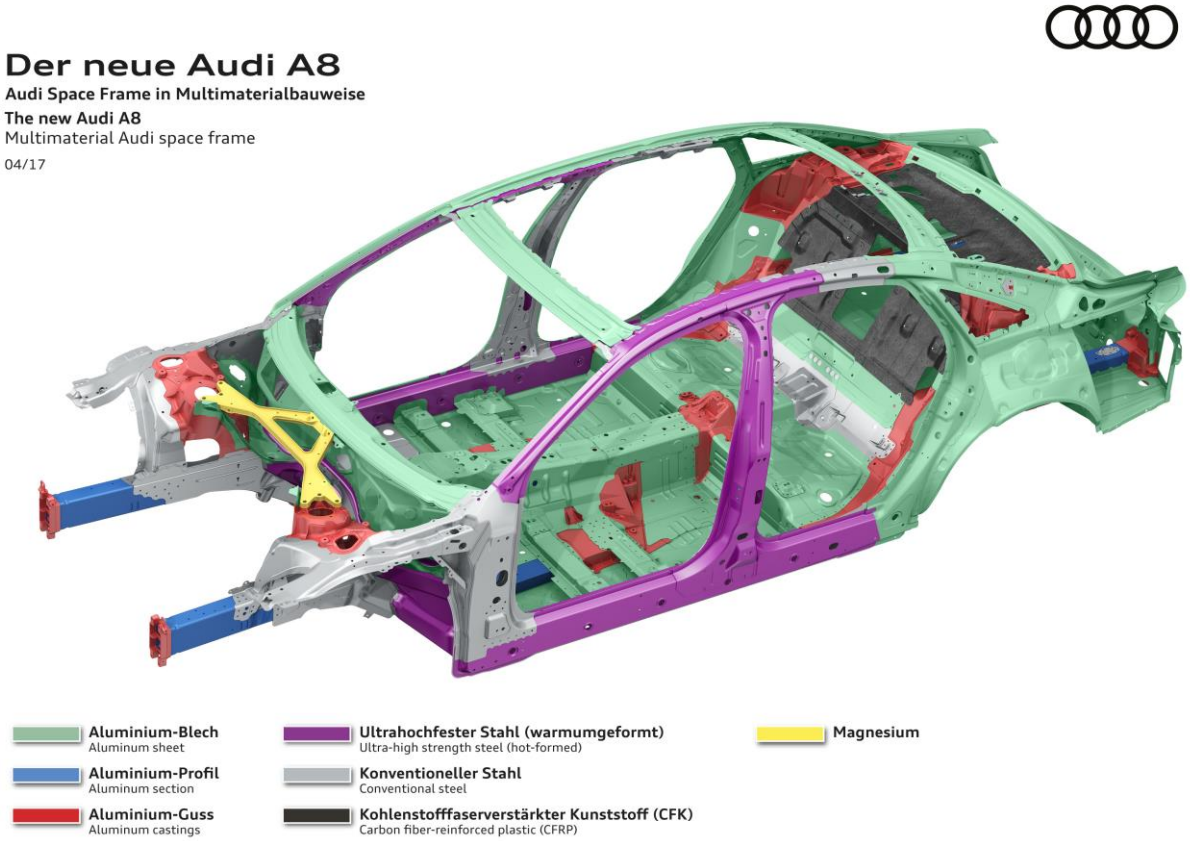

Figura 4.22 : Body In White (BIW) Audi A8
(Fonte: Audi MediaServices)

Il confronto fra due modelli di Audi evidenzia come la presenza dell'alluminio aumenti all'aumentare della fascia di prezzo. La A8 (illustrata nella Figura 4.22) che appartiene comunque alla stessa casa automobilistica, presenta più elementi in alluminio, tanto è vero che lo stesso pianale è quasi interamente disegnato in verde.

Da notare anche la presenza (in giallo) di un componente in magnesio nella parte anteriore del veicolo, elemento ancora più pregiato. Esso viene utilizzato in bassa percentuale solo su veicoli di lusso, generalmente per alleggerire la zona frontale del veicolo.

È importante ricordare anche la fibra di carbonio, che oggigiorno rappresenta sicuramente uno dei materiali più innovativi, essendo in grado di conferire eccelse caratteristiche meccaniche a fronte un peso ridotto. In un contesto di diffusione di massa è però difficile immaginare l'utilizzo del suddetto materiale. Il costo elevato, unito ad un comportamento non ottimale agli urti, ne impedisce infatti la larga diffusione, limitandone l'impiego solo in contesti di nicchia, dove sono richieste elevate performance.

Meritano una menzione importante anche i materiali polimerici, che vengono prevalentemente integrati nelle portiere laterali e svolgono un ruolo strutturale nella protezione dagli urti laterali, oltre ad alleggerire notevolmente suddetti componenti. La

crescente necessità di veicoli sempre più leggeri comporta però l'integrazione di materiali plastici anche in altre componenti del veicolo, come mostra la Figura 4.23.

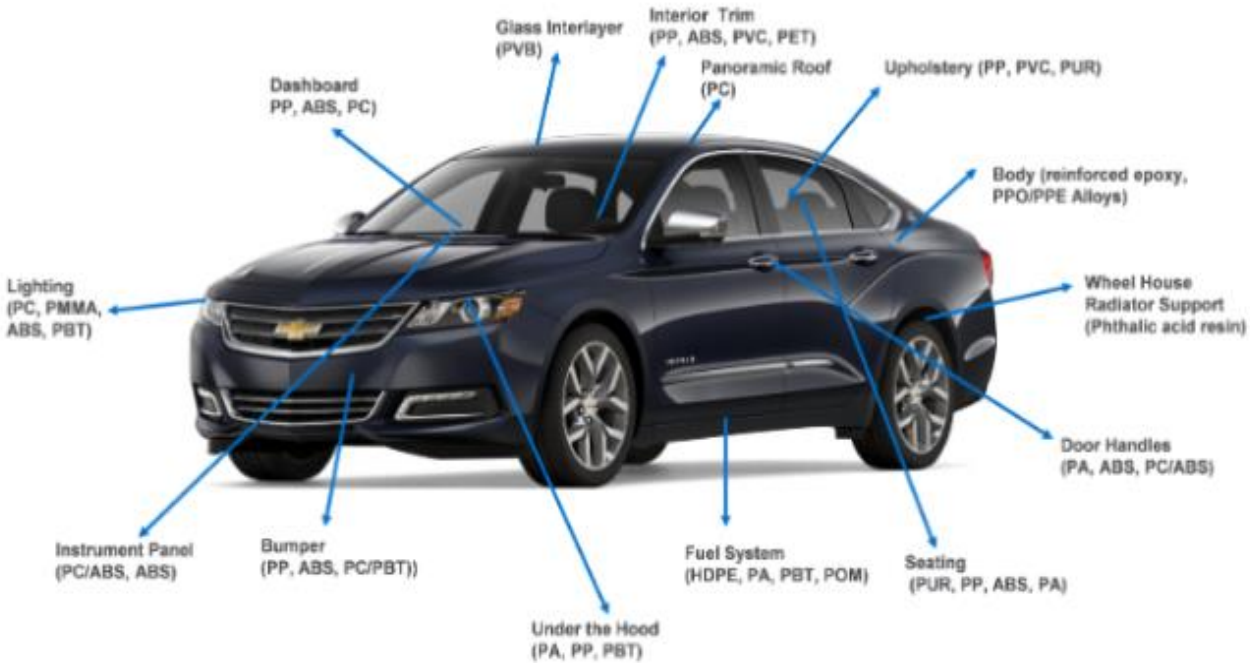

Figura 4.23 : Applicazione di materiali polimerici in una Chevrolet

Passando infine al pretesto iniziale, in cui bisogna includere nel progetto il peso delle batterie agli ioni litio, è evidente come l'integrazione di elementi di alluminio è fondamentale, essendo il materiale più accessibile dopo l'acciaio. Ciò evidenzia un ulteriore fattore per cui i prezzi dei BEV sono tuttora elevati. Non si tratta più di un fattore puramente lussuoso, per chi non vuole badare a spese; adottare l'alluminio, contrariamente al caso dei veicoli tradizionali, è necessario anche nella fascia di prezzo bassa, per consentire le stesse prestazioni e proprietà strutturali dell'equivalente modello ICE.

5 Riorganizzazione degli stabilimenti produttivi

Al fine di effettuare un'analisi critica su di un layout produttivo tipico di uno stabilimento automotive, è conveniente innanzitutto definire il concetto stesso di layout ed illustrarne le principali configurazioni.

La definizione formale di layout ci viene data dal B.I.T. (Bureau Internazional du Travail), ovvero l''Ufficio Internazionale del Lavoro. Il suddetto ente è un'agenzia correlata all' Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) responsabile della gestione delle tematiche relative al lavoro, con sede a Ginevra. L'enunciato è il seguente:

"Per layout di una fabbrica, di uno stabilimento, di un'area di lavoro si intende la dislocazione dei reparti o delle officine nell'ambito della fabbrica, e delle macchine, dei posti di lavoro e dei depositi nelle aree lavorative, inclusi, ove sia il caso, gli uffici ed i servizi aziendali relativi".

5.1 Tipologie di layout

Come suggerisce il B.I.T la dislocazione dei reparti ricopre dunque un ruolo fondamentale nello sviluppo di un processo produttivo. La disposizione deve essere il più possibile congeniale allo sviluppo ottimale del prodotto finale. La scelta del layout è fortemente condizionato da due fattori principali: volume di produzione e varietà di elementi prodotti esistono diverse tipologie di layout, andiamo ad analizzarle.

- **Layout a punto fisso:** disposizione in cui il personale, i pezzi secondari, gli strumenti e i macchinari confluiscono verso un punto fisso, dove si trovano il pezzo e i materiali principali. Esempi tipici di questa applicazione si riscontrano nella produzione di grandi elementi come aerei, navi ma anche nell'artigianato.

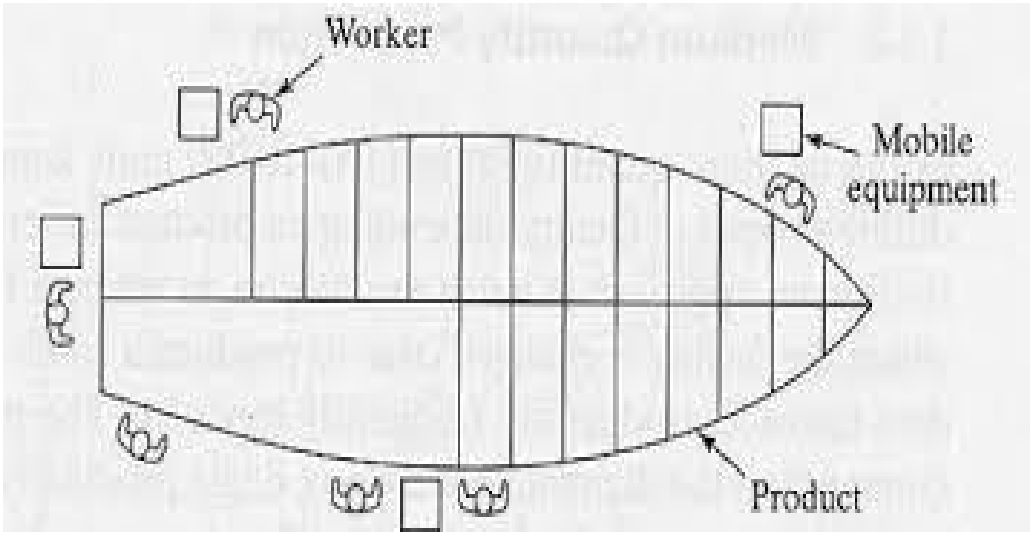

Figura 5.1 : Schema layout a punto fisso

- **Layout a flusso (o per prodotto):** contrariamente al precedente layout i macchinari sono fissi, distanziati pochi metri l'uno dall'altro. Le materie prime entrano in un punto d'ingresso all'estremo dell'area produttiva e procedono lungo la linea fino alla fine. Passando da un macchinario al successivo le materie prime subiscono le varie operazioni, arrivando all'estremità finale come prodotto finito.

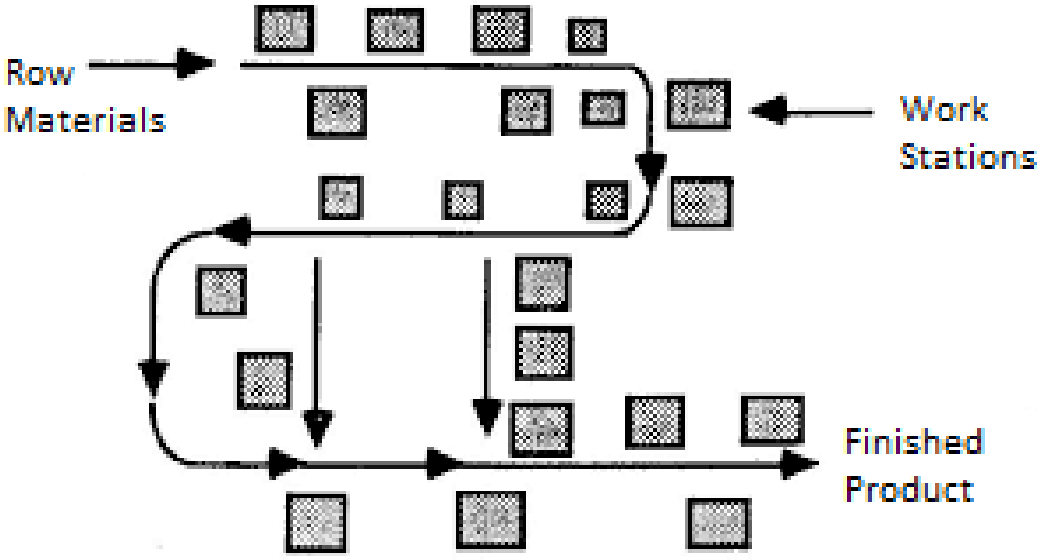

Figura 5.2 : Schema layout a flusso

- **Layout funzionale (o per processo):** operazioni appartenenti allo stesso gruppo di lavorazioni sono raggruppate e isolate da tipologie di operazioni totalmente differenti. In tal caso non essendo presente un flusso univoco il pezzo in produzione dovrà essere mobilitato con l'ausilio di macchinari mobili, che permettano di gestire i flussi più variegati.

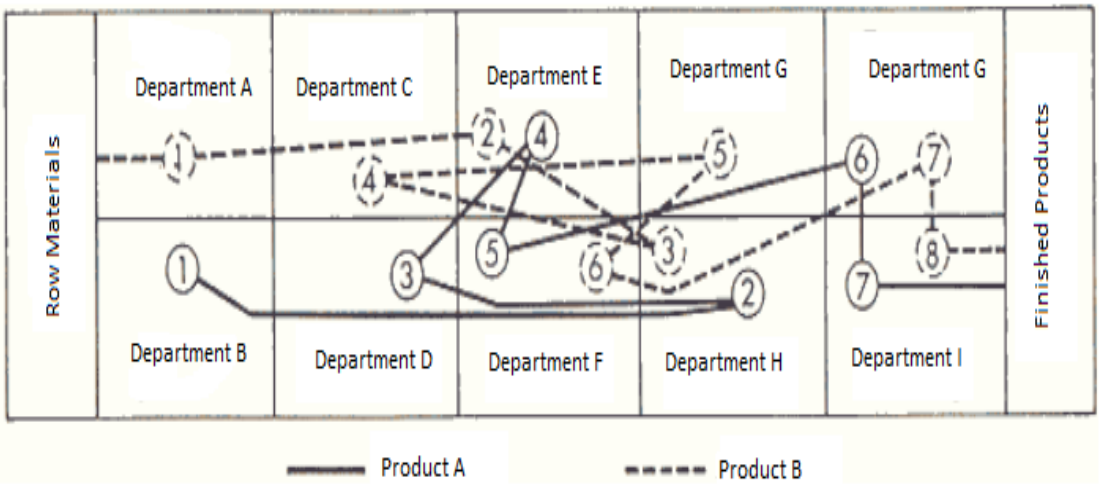

Figura 5.3 : Schema layout funzionale

- **Layout per tecnologia di gruppo (o ad isole):** macchinari differenti riuniti in maniera da consentire uno specifico gruppo di lavorazioni in una determinata zona dello stabilimento, che prende il nome di cella di lavorazione. Utilizzando tale configurazione si possono processare prodotti appartenenti allo stessa tipologia che richiedono un gruppo di lavorazioni simili. Presenta similitudini con il layout per processo ma anche con quello per prodotto; abbiamo infatti delle celle che svolgono un gruppo di operazioni, mentre invece nel layout per processo si svolge una singola operazione. La similitudine con il layout per prodotto consiste invece, nel fatto che ciascuna cella sia identificabile come una linea produttiva di dimensioni ridotte.

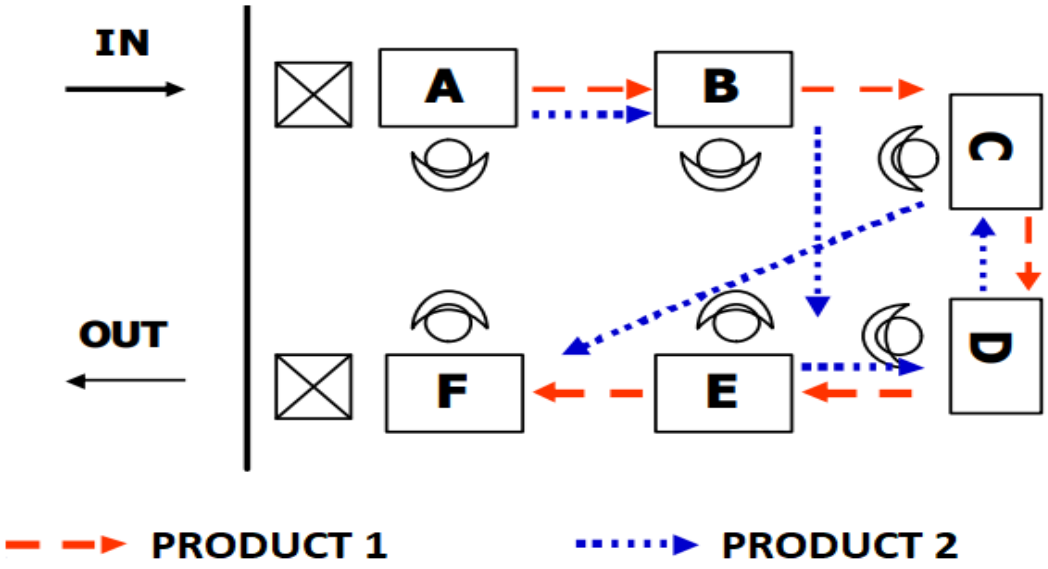

Figura 5.4 : Schema layout per tecnologia di gruppo

In un qualsivoglia stabilimento risulta spesso difficile definire con esattezza la tipologia di layout, in quanto nella maggior parte dei casi la soluzione adottata risulta essere un mix delle configurazioni precedentemente illustrate.

5.2 Analisi processo produttivo veicoli I.C.E

La precedente analisi ci porta dunque ad illustrare come è generalmente conformata una catena di montaggio di veicoli tradizionali. Teniamo in conto che in linea di massima si può considerare come un layout per prodotto, visto che nei moderni stabilimenti, partendo dalle materie prime, la scocca del veicolo viene movimentato lungo lo stabilimento grazie a nastri trasportatori e robot industriali.

La produzione ICE parte direttamente dalla materia prima: pannelli di acciaio. Come abbiamo già analizzato la prevalenza di tale materiale dipende anche dalla fascia di prezzo del veicolo, ma tralasciamo per un momento questo dettaglio e concentriamoci sul processo produttivo. Dalle lamiere, di cui vengono inizialmente verificate le caratteristiche superficiali e lo spessore, si ottengono i pezzi grezzi.

Figura 5.5 : Stampaggio a caldo di componenti del veicolo

Tali elementi vengono movimentati da robot industriali e nastri trasportatori, per essere lavorati a caldo da enormi presse idrauliche. In questa sezione dello stabilimento vengono quindi formate a caldo per diventare le diverse parti della scocca della vettura. L'assenza di personale sulla linea rende l'operazione altamente efficiente, veloce, sicura e favorisce un'ottima ripetibilità nella produzione. In genere per completare un intero veicolo sono necessari fra i 300 ed i 400 pezzi stampati. I componenti principali da essere modellati sono:

- Fianchi della carrozzeria
- Portellone anteriore
- Portellone posteriore
- Portiere laterali

- Montanti
- Sottoscocca
- Tetto

Contemporaneamente avviene lo stampaggio delle plastiche. Viene effettuata un'attenta analisi e verifica delle scocche, ad opera di tecnici specializzati, che si occupano anche di identificare la causa dei possibili problemi che si sono riscontrati.

Tali verifiche servono non solo per una questione estetica, ma soprattutto per garantire il corretto assemblaggio e la funzionalità del prodotto finale. Ad ogni modo il continuo monitoraggio consente di poter intervenire sul processo produttivo nel momento in cui si riscontri un errore reiterato.

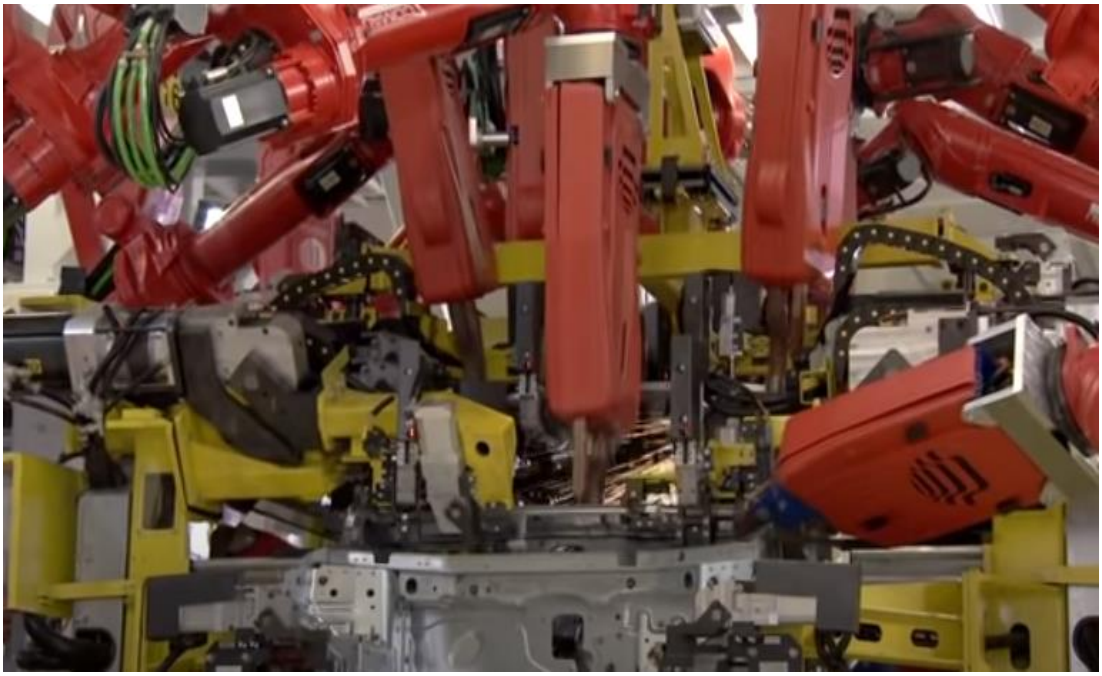

Figura 5.6 : Fase di saldatura nello stabilimento Fiat Pomigliano

Si passa al reparto saldatura, dove robot ad elevata precisione effettuano diverse migliaia di punti di saldatura. Tale operazione conferisce al complessivo grande resistenza strutturale.

Contemporaneamente in reparti dedicati vengono allestiti i componenti mobili quali portiere laterali, portellone frontale e portellone . La connessione avviene tramite giunti meccanici ed è generalmente effettuata da operai specializzati. Il veicolo, in questa fase, dovrà essere controllato in maniera particolare per evitare disallineamenti nelle giunture che potrebbero comportare interferenze meccaniche indesiderate. Il prodotto, in questa configurazione, viene identificato come BIW (Body In White).

Prima di procedere con la verniciatura il BIW deve essere pulito in maniera accurata, eliminando i residui dello stampaggio e delle operazioni di assemblaggio a cui è stato sottoposto.

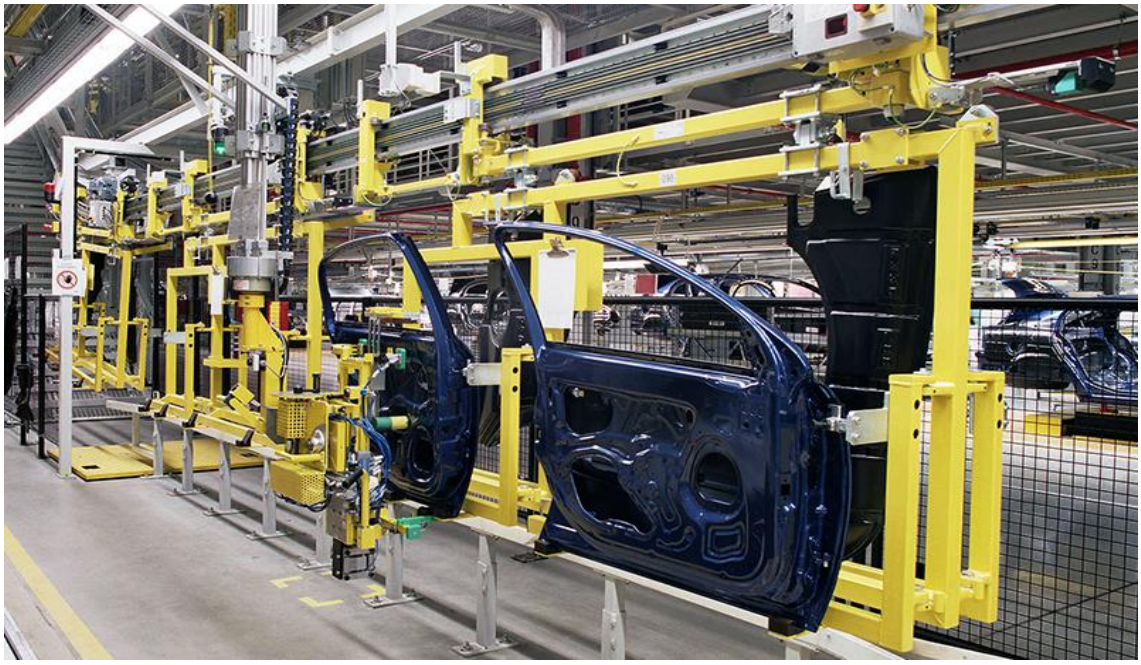

Figura 5.7 : Reparto di assemblaggio delle portiere laterali

Non descriveremo nel dettaglio il processo, ma solo sommariamente, per illustrare come si muove il prodotto durante il processo produttivo. La pulitura avviene generalmente per immersione del corpo dell'auto in acqua mista a particolari detergenti. Segue un risciacquo del veicolo ed un ulteriore processo di rivestimento chiamato E-Coating. Lo scopo di tale rivestimento è quello di facilitare l'adesione della vernice, proteggendo anche la scocca dalla corrosione. Il processo avviene immergendo interamente il BIW in una particolare miscela e facendolo ruotare all'interno della vasca come visibile in Figura 5.8.

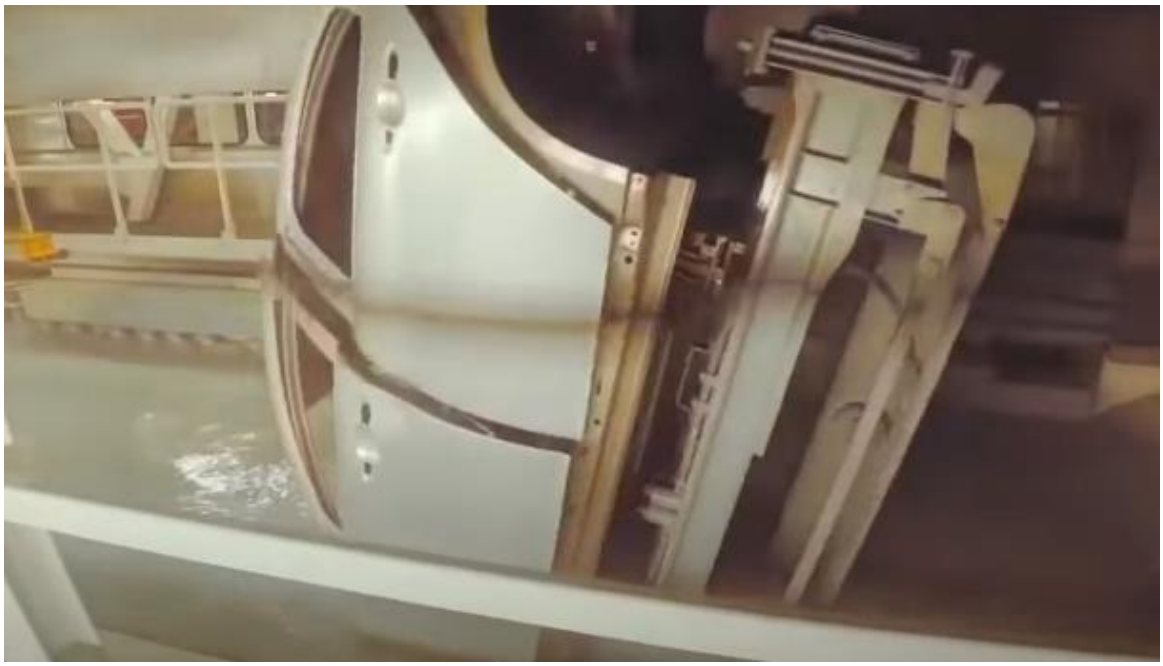

Figura 5.8 : Processo di E-Coating

Arrivati a questo punto il blocco viene trasportato al reparto verniciatura., dove ulteriori robot utilizzano particelle magnetiche di vernice. L'operazione viene effettuata in ambiente asettico, visto che la minima inclusione di particella esterna rischia di comprometterne il risultato finale. La tecnica utilizzata conferisce al pezzo un'ottima uniformità superficiale e allo stesso tempo evita sprechi eccessivi di tintura. Consiste nel sfruttare l'effetto calamita delle particelle di colorante, che vengono nebulizzate dai robot sulle scocche.

Figura 5.9 : Verniciatura di una Ferrari

La verniciature conferisce protezione dalla corrosione e dagli agenti atmosferici, oltre ovviamente alla colorazione desiderata. Al termine di tale processo le scocche vengono private delle portiere, per consentire l'assemblaggio dei pezzi interni all'abitacolo. Vengono inoltre applicata la colla e le giunture.

Seguono ulteriori analisi da parte di ingegneri e operatori, che effettuano le dovute verifiche dimensionali e qualitative con controlli a campione.

Vengono posti sotto speciali luci in grado di evidenziare difetti superficiali. Al contempo, in una sala metrologica, vengono analizzati dei campioni di componenti. Nella sala vari strumenti di monitoraggio, fra i quali dei precisi tastatori meccanici, evidenziano i punti critici riscontrati, per mezzo di specifici software. Parallelamente avviene la verifica del serbatoio, sottoposto a prove relative a:

- pressione sopportabile
- materiali
- invecchiamento
- riempimento

In caso di assenza di difetti, la vettura passa alla fase di assemblaggio finale, attuata da operai specializzati, affiancati da macchinari per la movimentazione dei pezzi. L'ausilio di tali macchinari consente agli operatori di lavorare in un ambiente sicuro ed efficiente, riducendo al massimo gli sforzi. A questo punto si può dire terminata la fase di assemblaggio del corpo del veicolo.

Figura 5.10 : Movimentazione di una vettura in fase di assemblaggio

La fase successiva, di fondamentale importanza, è il cosiddetto "Marriage", ovvero l'operazione di unione del gruppo di propulsione al telaio. La scocca, oramai completa delle parti principali, viene calata dall'alto. Al di sotto, su di una piattaforma, viene disposto il powertrain a combustione interna, assemblato generalmente in un differente reparto dello stabilimento.

In questa fase del processo la componente umana è estremamente importante, contrariamente alle prime fasi del processo produttivo; la ripetibilità delle operazioni deve essere sempre garantita. Un gruppo di operari specializzati ha infatti il compito di effettuare tutte le connessioni necessarie per il corretto funzionamento dei veicoli.

Bisognerà prestare particolare attenzione a tale processo, dato che a ragion veduta, la configurazione del powertrain elettrico differisce molto da quella tradizionale. Da questa considerazione è facile intuire che l'accoppiamento di questi due complessivi avverrà in maniera diversa a seconda della tipologia di veicolo.

Figura 5.11 : Operazione di Marriage in un veicolo a combustione intera

Vengono dunque assemblati tutti i componenti rimanenti come ruote, parabrezza e tutti i portelloni, che erano precedentemente stati rimossi per facilitare l'assemblaggio del prodotto. Alla fine della linea di montaggio il veicolo dovrà essere sottoposto a specifici test statici e dinamici, compresa una prova su strada.

5.3 Analisi processo produttivo B.E.V

Il fulcro del nostro lavoro sarà quello di evidenziare in maniera critica le differenze configurative da attuare per convertire la produzione all'interno dello stabilimento automotive. L'analisi strutturale già mostrata serve proprio a marcare i punti critici; il peso delle batterie, la distribuzione dei pesi sul telaio, i diversi materiali utilizzati e le variazioni in generale sulle geometrie della struttura, rendono infatti diverse le operazioni di montaggio.

La prima differenza palesemente riscontrabile in questa tipologia di produzione è la materia prima; la presenza delle batterie impedisce infatti l'utilizzo massivo dell'acciaio e rende indispensabile la scelta di un materiale più leggero ma con caratteristiche meccaniche pressoché equivalenti. La fabbricazione per tale motivo, comincia comunemente con l'utilizzo di bobine di alluminio.

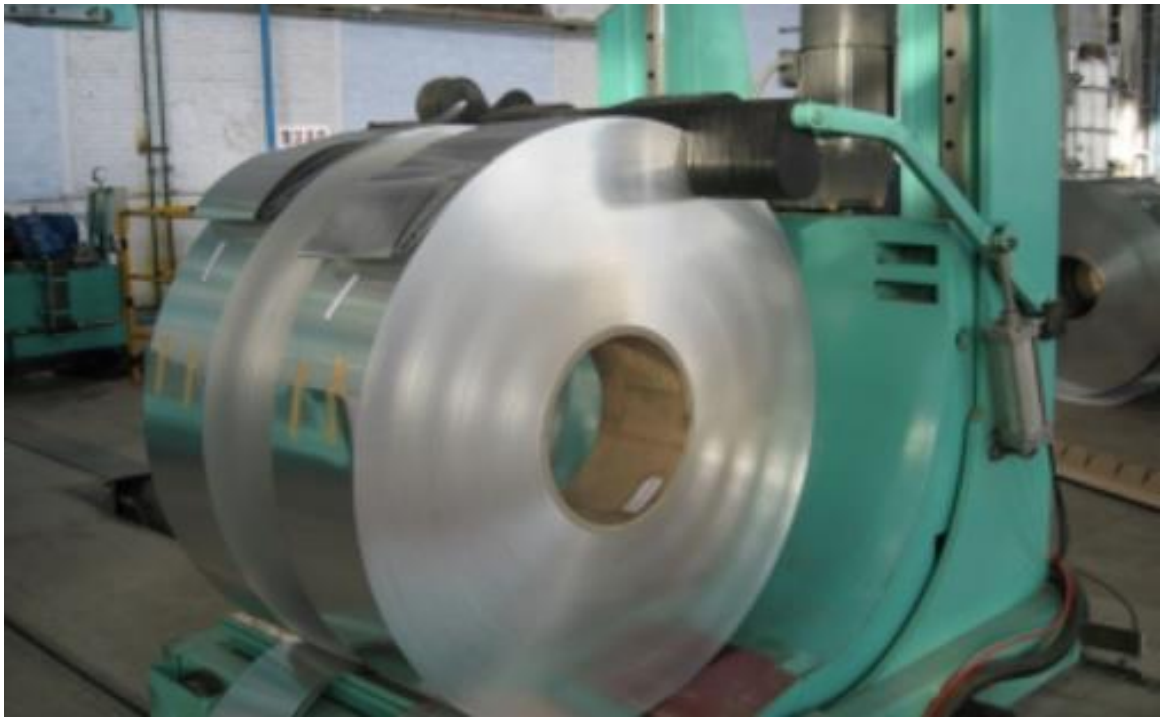

Figura 5.12 : Bobina di alluminio

Identicamente a quanto avviene per i veicoli ICE i materiali, precedentemente sagomati a seconda delle parti del veicolo che andranno a comporre, vengono movimentati per essere lavorati dalle presse idrauliche. Vengono eseguiti dai 4 ai 5 passaggi di sagomatura a freddo, contrariamente a quanto avveniva con l'acciaio. In tal caso il costo legato allo stampaggio è quindi inferiore rispetto al caso dell'acciaio.

La produzione del corpo procede in maniera molto simile al caso ICE, non essendovi particolari differenze strutturali, ma differisce in maniera significativa nel momento in cui si devono integrare il powertrain ed il pacco batterie. A tal proposito è

particolarmente rilevante considerare come la disposizione delle batterie giochi un ruolo chiave sull'assemblaggio in quanto occupa quasi per intero il fondo del pianale.

In seguito all'assemblaggio delle celle, l'intero pacco batterie verrà avvolto da una scocca di alluminio; trattandosi di un elemento delicato e pericoloso è indispensabile utilizzare una struttura che lo isoli e protegga.

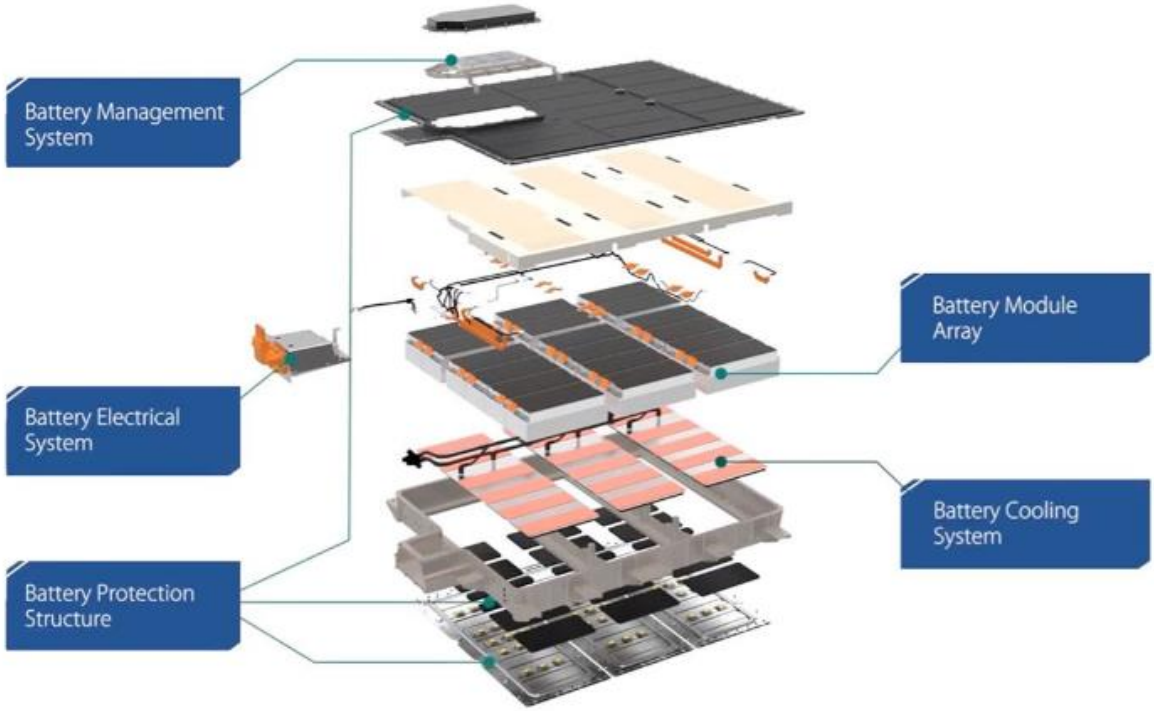

Figura 5.13 : Struttura interna di un pacco batterie

Un processo chiaramente diverso è l'accorpamento del powertrain. Come nel caso precedente, avverrà in una postazione esterna alla linea principale, ma presenterà varie differenze nelle postazioni di lavoro, per poter gestire delle componentistiche sostanzialmente differenti. Sempre in queste postazioni esterne, equivalentemente a quanto avviene nei controlli dei powertrain ICE, verrà testato elettronicamente il pacco batterie. Infine, sempre esternamente alla linea principale verranno preparati i comparti delle ruote posteriori ed anteriori.

Bisognerà collegare la batteria (o spesso a più di un motore) all'inverter e successivamente collegare il motore. Al contempo avremo l'assenza dei dispositivi per la gestone dei prodotti della combustione, per cui la parte centrale del powertrain sarà occupata esclusivamente dalla batteria e dalle relative connessioni.

Un'ulteriore differenza nasce nel collegamento del motore alla trasmissione, abbiamo infatti evidenziato come ad un maggior peso del powertrain dovuto alla presenza della batteria, corrisponda un alleggerimento dovuto ad una trasmissione monomarcia molto più semplice e dalle dimensioni ridotte. L'ingombro ridotto dovuto a tale fattore permetterà anche di avere abitacoli più spaziosi come abbiamo visto nel caso Volkswagen.

Nel Marriage gli addetti dovranno gestire una configurazione diversa per quanto riguarda powertrain, cablaggi e sistema di raffreddamento. A tal proposito a seconda del processo stabilito dall'azienda, è possibile gestire suddetta operazione in maniera differente; l'assemblaggio dei moduli del powertrain elettrico risulta infatti più flessibile rispetto al caso ICE.

Se nel caso tradizionale era necessario assemblare per intero il gruppo di propulsione alla parte superiore del veicolo a causa della sua composizione, nel caso attualmente in esame si può anche optare per integrare inizialmente il solo pacco batterie, per poi unire i gruppi posteriore ed anteriore, come mostrato in Figura 5.12. In tal caso le piattaforme che elevano i gruppi motrici risultano essere due, una per il posteriore ed una per l'anteriore. Ciò non esclude che il Marriage possa avvenire integrando il powertrain per intero come nel caso precedente.

Figura 5.14 : Operazione di Marriage in una Tesla

Per quanto riguarda la fase finale, differisce la fase dei test, avendo a che fare con un prodotto dal funzionamento totalmente diverso. Le verifiche sui cablaggi e sul sistema di raffreddamento saranno totalmente diverse. Alla fine della catena di montaggio sarà necessario installare delle torrette di ricarica , in modo da poter eseguire i test finali sui veicoli appena prodotti.

5.4 Soluzioni da adottare

In seguito all'analisi appena effettuata, possiamo dunque affermare che le differenze riscontrate fra le vetture ICE e BEV si rispecchiano sulla linea produttiva dello stabilimento.

La prima modifica che notiamo è legata alla riduzione dell'acciaio, ciò non comporterà sostanziali modifiche al layout dello stabilimento, anzi ridurrà semplicemente i costi legati al processo di lavorazione a caldo a cui tale elemento deve essere sottoposto nei veicoli tradizionali.

La differente maniera di assemblare i veicoli sarà principalmente dovuta dalla presenza del powertrain elettrico, strutturalmente molto diverso dal powertrain dei veicoli ICE. A livello di carrozzeria e allestimenti interni non vi sono invece particolari differenze in termini strutturali e di volumi occupati. Anche il cablaggio elettrico e il sistema di raffreddamento influiranno sulle postazioni e sul layout dello stabilimento.

Per far fronte a tale esigenza sarà dunque necessario allestire nuove stazioni di lavoro, in modo da gestire elementi totalmente diversi specifici per i BEV, che fino ad ora non erano presenti nella configurazione tradizionale. Le nuove postazioni che concettualmente dovranno essere adibite saranno due:

- La prima per la configurazione del powertrain elettrico
- La seconda per assemblare e successivamente annettere la batteria, nel caso in cui venga direttamente annessa al powertrain stesso.

La workstation per la configurazione del gruppo di propulsione elettrico dovrà prevedere degli strumenti idonei a gestire più componenti elettrici rispetto al caso ICE, vista la presenza dei motori elettrici e del sistema di cablaggio generalmente più articolato. Inoltre la postazione addetta all'assemblaggio della trasmissione verrà semplificata, avendo a che fare con un sistema meccanico più essenziale.

Ad ogni modo abbiamo avuto modo di verificare che il layout complessivo non verrà stravolto, anche perché il powertrain elettrico offre una maggiore flessibilità di assemblaggio. Tale flessibilità offre più soluzioni da un punto di vista dell'ordine in cui vengono eseguite le operazioni, spunto interessante perché tramite uno studio adeguato si potrà eventualmente valutare se è possibile migliorare la produttività dello stabilimento.

6 Conclusioni

L'analisi realizzata è partita da quelle che è la panoramica genarle sull'elettrico. Le normative che gli stati mondiali stanno seguendo, unite a vari incentivi ed ecotasse, marcano un percorso ben chiaro. Non si tratta più di chiedersi se si passerà all'elettrico, ma quando si passerà all'elettrico. Il pianeta esige una politica che incentivi qualsiasi tipo di iniziativa eco-friendly e la conversione graduale all'elettrico è sicuramente una delle più importanti. I vincoli posti alle emissioni sono restrittivi e le case automobilistiche si stanno gradualmente adattando con strategie aziendali differenti ma ugualmente improntate a diminuire le emissioni medie sul catalogo prodotti.

Dopo un breve accenno alla storia dei veicoli elettrici abbiamo esposto quelle che sono le principali innovazioni tecnologiche che l'avanzare dell'elettrico apporta al mondo automotive. Tali tecnologie devono rappresentare una forte spinta per il passaggio ad un trasporto a zero emissioni. Presentare la nuova tipologia di veicoli come dei prodotti più efficienti deve aumentare quella appetibilità che fino ad ora è un po' mancata a causa dell'eccessivo costo dei BEV. L'evoluzione a cui i BEV stanno andando incontro è comunque giustificata, come tutte le tecnologie che si affacciano al grande pubblico per la prima volta (o come in questo caso per la seconda).

La transizione deve comunque essere accompagnata da un sistema di infrastrutture e dispositivi atti a consentirne una diffusione massiva. In sunto ricaricare le batteria di un'auto dovrà rappresentare la normalità, come quando si ricaricano le batterie del nostro smartphone. Ed è proprio una gestione trasparente degli accumulatori al litio che permetterà una più larga diffusione dei BEV. Bisogna chiedersi perché tutt'oggi tante persone dubitino ancora di tale tecnologia ed incoraggiarli al cambiamento. La diffusione delle gigafactories aiuterà questo processo di conversione, anche perché la scarsa conoscenza della gestione degli accumulatori da parte della Cina rema ancora in senso contrario. Al contempo dovrà essere garantita una gestione ottimale della pericolosità delle batterie, essendo strumenti molto delicati.

Siamo poi passati dal punto di vista dei grandi produttori mondiali. Evidenziando le diverse architetture dei veicoli, con un passaggio non di poco conto su delle soluzioni intermedie quali HEV e PHEV, è stato possibile stabilire come varia il processo produttivo rispetto al ciclo tradizionale dei veicoli ICE. Tale variazione passa anche e soprattutto dai materiali che consentono di bilanciare il peso aggiuntivo dal pacco batterie.

Giunti ad una descrizione del processo produttivo ICE, abbiamo successivamente introdotto delle modifiche ideali per la conversione ad un impianto interamente addetto ai BEV. Nonostante la grande diversità costruttiva, le soluzioni adottate hanno evidenziato come non vi siano grossi stravolgimenti nel layout dello stabilimento e lasciano ben sperare per una conversione all'elettrico che deve innanzitutto partire dai produttori e poi dai consumatori.

7 Riferimenti bibliografici

[1] Nana O. Bonsu, 2019, Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy;

[2] Accenture, 2014, The Electric Vehicle Challenge Electric Vehicle Growth in an Evolving Market Dependent on Seven Success Factors;

[3] Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, REGOLAMENTO (CE) N. 692/2008 DELLA COMMISSIONE del 18 luglio 2008;

[4] Auto Euro 6: A, B, C o D. Quali sono le differenze?, su Automoto.it. URL. https://www.automoto.it/news/auto-euro6-quali-sono-le-differenze-a-parita-di-numero.html;

[5] https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it;

[6] https://www.automobile.it/magazine/in-primo-piano/ecotassa-12521;

[7] Sito ufficiale del Ministero dello Sviluppo Economico, URL. https://ecobonus.mise.gov.it/news/simple-news-folder/ecobonus-automotive-dal-1-settembre-le-nuove-prenotazioni-del-contributo;

[8] Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana Decreto-Legge convertito con modificazioni dalla L.13 ottobre 2020, n.126 (in S.O. n. 37, relativo alla G.U. 13/10/2020, n. 253).https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/08/14/20G00122/sg;

[9] Xavier Mosquet, Aakash Arora, Alex Xie, Matt Renner, 2020, Who Will Drive Electric Cars to the Tipping Point? https://www.bcg.com/it-it/publications/2020/drive-electric-cars-to-the-tipping-point;

[10] Francesco Barontini, 2020, Tesla svela come funziona una Gigafactory (ma è giallo con Panasonic). https://insideevs.it/news/434513/gigafactory-tesla-nevada/;

[11] Vendite mondiali auto 2018: classifiche gruppi e marche. https://www.autoblog.it/post/964925/vendite-mondiali-auto-2018-classifiche-gruppi-e-marche;

[12] Manufacturing of Electric Cars - Will Everything Change? https://www.spotlightmetal.com/manufacturing-of-electric-cars--will-everything-change-a-833450/;

[13] M. Guarnieri, 2012, Looking back to electric cars. Proc. HISTELCON 2012 - 3rd Region-8 IEEE HISTory of Electro - Technology CONference: The Origins of Electrotechnologies;

[14] https://www.vaielettrico.it/nuova-renault-zoe-da-52-kwh-la-guida-allacquisto/;

[15] Elisa Perri, 2020, Ti serve la wall box o la colonnina? Ecco il listino facile https://www.vaielettrico.it/ti-serve-la-wall-box-o-la-colonnina-ecco-il-listino-facile/

[16] Quanto costa aumentare i kW: mercato libero e mercato tutelato https://energit.it/quanto-costa-aumentare-i-kw/#:~:text=ai%206%20kW.-,Quanto%20costa%20aumentare%20i%20kW%3A%20mercato%20libero%20e%20mercato%20tutelato,annui%20per%20ogni%20kW%20richiesto;

[17] https://www.leaseplan.com/it-it/news-auto/colonnine-elettriche-italia/;

[18] Mappa colonnine di ricarica per auto elettriche | Enel X https://www.enelx.com/it/it/mobilita-elettrica/mappa-stazioni-ricarica;

[19] https://motori.ilmessaggero.it/economia/enel_x_installera_250_colonnine_di_ricarica_per_auto_elettriche_a_torino-4286822.html;

[20] E. Arfa Grunditz and T. Thiringer, "Characterizing BEV Powertrain Energy Consumption, Efficiency, and Range During Official and Drive Cycles From Gothenburg, Sweden," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 6, pp. 3964-3980, June 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2492239.

[21] Sfida tra auto con motore termico contro le elettriche, ecco pro e contro di entrambi. Una scelta non semplice https://motori.ilmessaggero.it/speciale_ripartenza_elettrificata/sfida_auto_motore_termico_contro_elettriche_ecco_pro_scelta_non_semplice-5309052.html#:~:text=I%20motori%20a%20benzina%20pi%C3%B9,doppia%2C%20superiore%20al%2090%25.;

[22] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof and P. J. Ker, "State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations," in IEEE Access, vol. 6, pp. 19362-19378, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817655;

[23] Bernardini, Annalia & Barrero, Ricardo & Macharis, Cathy & Van Mierlo, Joeri, 2015. Technological solutions aiming at recovering metro braking energy: a multi-criteria analysis case study. BDC – Bollettino del Centro Calza Bini – Università degli Studi di Napoli Federico II. 14. 301-325. 10.6092/2284-4732/2929. https://ec.europa.eu/italy/news/20201210_green_deal_pile_e_batterie_sostenibili_per_un_economia_circolare_it;

[24] https://leasenews.it/news/dati-di-settore/assilea-immatricolazioni-in-italia-febbraio-2021;

[25] https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work;

[26] https://www.istitutopesenti.edu.it/dipartimenti/meccanica/Macchine/motORI%20A%20C%20I.pdf;

[27] https://evreporter.com/ev-powertrain-components/;

[28] Liu, M., Guo, Y., Wang, J. et al. Corrosion avoidance in lightweight materials for automotive applications. npj Mater Degrad 2, 24 (2018). https://doi.org/10.1038/s41529-018-0045-2 https://x-engineer.org/automotive-engineering;

[29] Omar M. A., The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes, Hoboken, John Wiley&Sons, 2011.