

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
«Materiali per veicoli elettrici: principali caratteristiche e differenze rispetto ai motori a combustione»

Tutor universitario: Prof. Katya Brunelli

Laureando: *GianGirolamo Cozzi*

Padova, 19/09/2024

Un **veicolo elettrico (EV)** è un mezzo di trasporto dotato di uno o più motori elettrici per la propulsione.

- I veicoli elettrici costituiscono un **significativo passo avanti nella tecnologia dei trasporti**, nato dall'esigenza pressante di trovare soluzioni di **mobilità sostenibile**.
- La **prima auto elettrica** fu sviluppata dall'inventore statunitense **Thomas Davenport** nel **1834**.
- In questa trasformazione sono stati molto importanti i **materiali intelligenti**, dei materiali avanzati progettati per offrire **proprietà uniche** per migliorare le **prestazioni**, l'**efficienza** e la **sostenibilità**.
- Questa tesi si focalizza sui recenti **progressi nel campo dei materiali intelligenti usati per gli EV**, offrendo una panoramica delle **tecnologie emergenti**, delle **sfide da affrontare** e delle **potenziali evoluzioni**.



Il lavoro si concentrerà con particolare attenzione sui seguenti aspetti fondamentali:

- 1. Confrontare** i **veicoli elettrici** con quelli a combustione.
- 2. Descrivere** le **principali tipologie** di veicoli elettrici.
- 3. Definire** i principali **materiali intelligenti** e le loro le caratteristiche.
- 4. Illustrare** il dibattito in corso sulla questione delle **batterie**.
- 5. Sottolineare** l'importanza dei materiali intelligenti per la **sicurezza** e il **comfort**.
- 6. Analizzare** alcuni **casi di studio specifici** (*Tesla, Oxford Yasa Motors, BMW*).

Costi

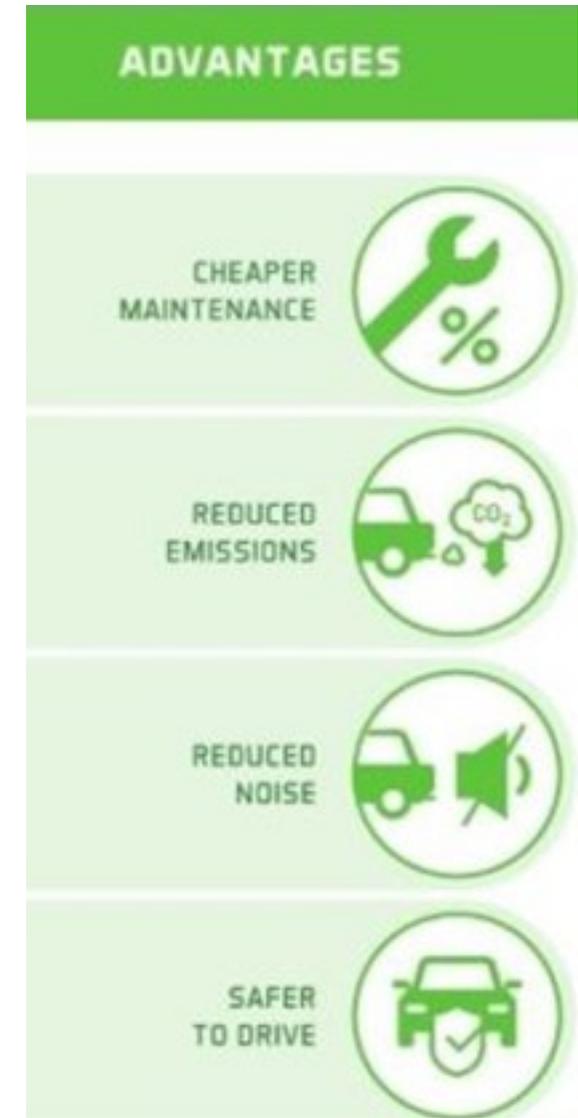
- **Costi operativi: più bassi** perché l'elettricità è meno costosa del carburante.
- **Manutenzione: è meno costosa** perché non hanno bisogno di operazioni quali cambi d'olio e sostituzione dei filtri (**la batteria ha però un costo importante se deve essere sostituita fuori garanzia**).
- **Incentivi e agevolazioni:** molti governi offrono **incentivi per l'acquisto** (sconti diretti, crediti d'imposta etc.).

Impatto ambientale

- **Emissioni di CO₂: non producono emissioni** dirette di CO₂ o altri gas nocivi (**se però l'elettricità per la ricarica è generata da fonti fossili, l'impatto è maggiore**).
- **Inquinamento acustico:** sono decisamente **più silenziosi**.

Performance

- **Accelerazione: è superiore** grazie alla coppia massima disponibile subito.
- **Esperienza di guida: è molto più fluida** con sensazione di linearità e controllo.



Costi

- **Prezzo di acquisto**: di solito è **più alto** a causa del elevato costo delle batterie.

Ricarica

- **Accessibilità**: stazioni di ricarica ancora **limitate** (ricarica domestica).
- **Tempo di ricarica**: da **30 min a diverse ore**, in base a caricatore e capacità.
- **Flessibilità**: la ricarica viene spesso effettuata di notte o durante le soste prolungate, richiedendo una **pianificazione più attenta**.

Impatto ambientale

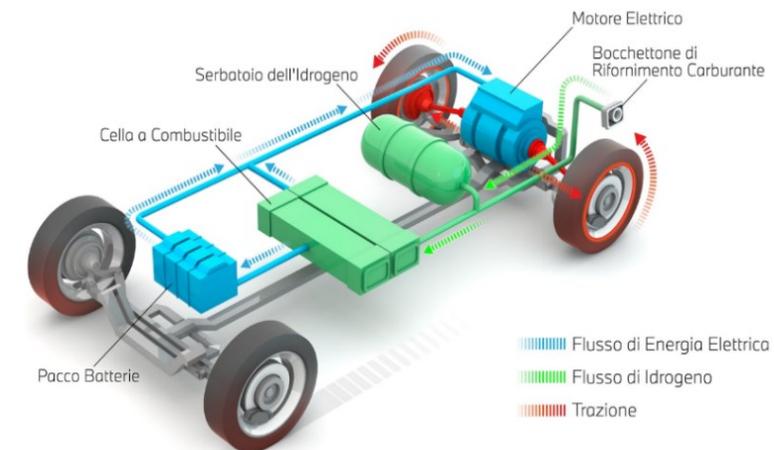
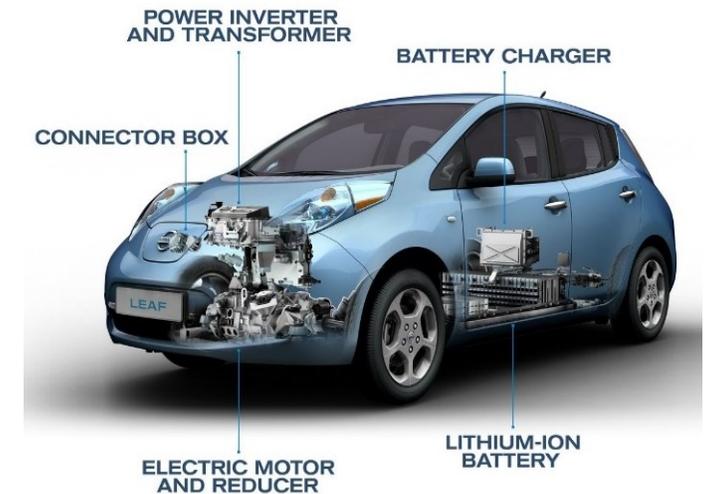
- **Produzione e smaltimento**: la produzione delle batterie comporta un **impatto ambientale significativo**, ma con il **riciclo** potrebbe ridursi nel tempo.

Performance

- **Velocità massima**: è **inferiore** (gli EV sono ottimizzati più per l'**efficienza**).
- **Autonomia e gestione**: **diminuisce** con una guida ad alte prestazioni.



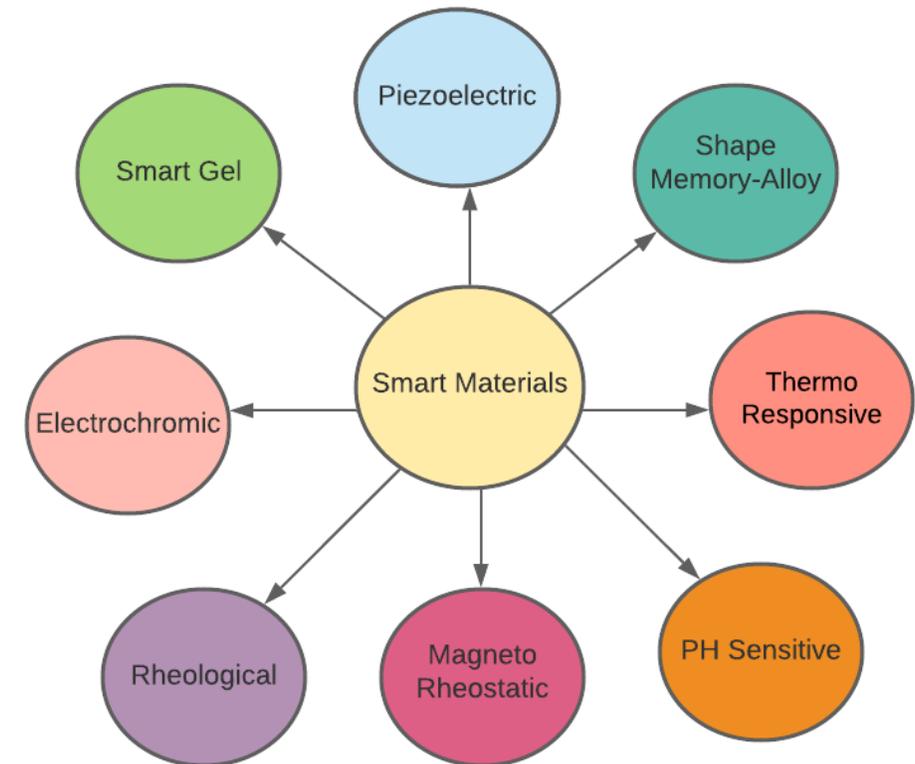
- **Veicoli elettrici a batteria (BEV)** (*Nissan Leaf, Chevrolet Bolt EV*)
Funzionano **esclusivamente** grazie all'elettricità e devono essere collegati a delle stazioni di ricarica. Producono **zero emissioni**.
- **Veicoli elettrici ibridi plug-in (PHEV)** (*Mitsubishi Outlander, Audi Q5 TFSI-e*)
Abbinano un motore elettrico con uno tradizionale e possono anche funzionare in modalità **solo elettrica per brevi distanze**.
- **Veicoli elettrici ibridi (HEV)** (*Honda Insight, Lexus RX 450h*)
Anch'essi abbinano un motore elettrico con uno tradizionale però **non sono in grado** di funzionare con la sola elettricità.
- **Veicoli elettrici a celle a combustibile (FCEV)** (*Toyota Mirai, Hyundai Nexa*)
Sfruttano celle a combustibile a **idrogeno** per generare l'elettricità e producono solo **vapore acqueo e calore** come sottoprodotti.



I materiali *“intelligenti”* sono progettati per possedere **proprietà uniche** che permettono loro di adattarsi, reagire e interagire in maniera intelligente con l'ambiente circostante.

In particolare, sono altamente:

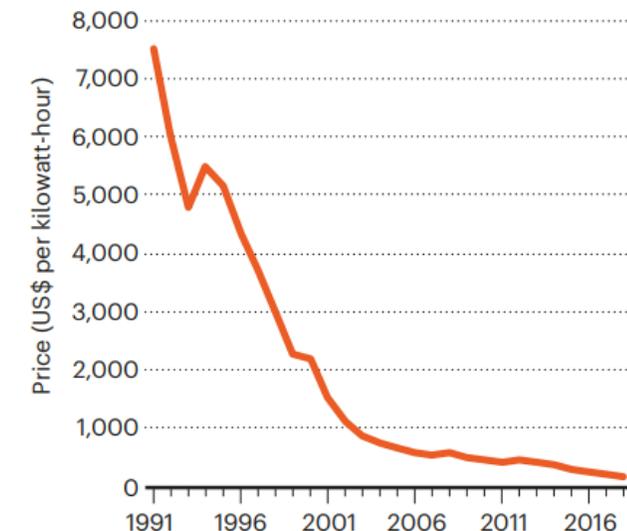
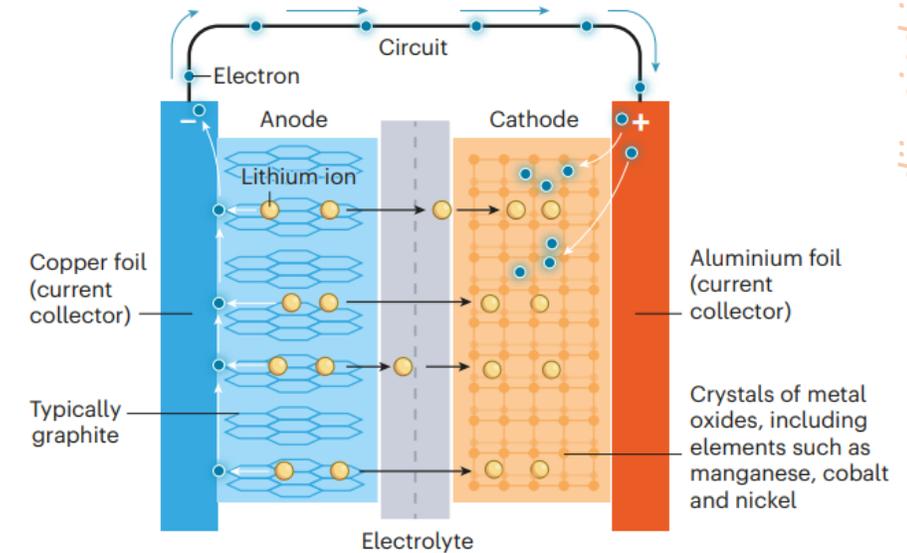
- **Reattivi**: hanno la capacità di **reagire** in modo dinamico agli stimoli esterni.
- **Adattivi**: sanno **adattarsi** alle condizioni ambientali o ai parametri stabiliti dall'utente in tempo reale.
- **Funzionali**: sono dotati di **funzionalità** specifiche che li rendono capaci di eseguire compiti specializzati.
- **Versatili**: si distinguono per la loro **versatilità**, sia nella fase di progettazione che nell'applicazione.



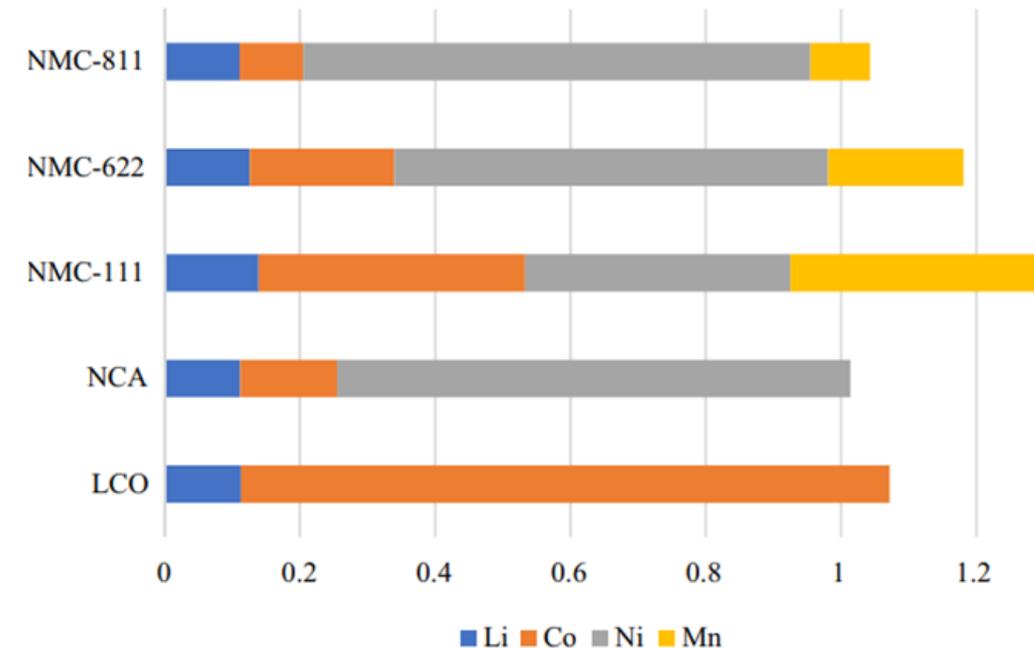
- **Leghe a memoria di forma (SMA)**: caratterizzate dalla capacità di "*ricordare*" e ritornare a una forma o configurazione predefinita quando sottoposte a determinati stimoli. Sono utilizzate per:
 - **Sistemi di attuazione** (nitinol, una lega di nichel-titanio)
 - **Componenti strutturali** (leghe di ferro-manganese-silicio)
- **Materiali piezoelettrici**: sono in grado di **generare una carica elettrica** quando sottoposti a **sollecitazioni** o deformazioni meccaniche. Particolarmente adatti per:
 - **Sensori di vibrazioni e accumulatori di energia** (quarzo)
 - **Sistemi di controllo attivo del rumore** (nitruro di alluminio)
- **Fluidi magnetoreologici (fluidi MR)**: modificano la **viscosità** quando esposti a un **campo magnetico**, permettendo di regolare dinamicamente le proprietà di smorzamento. Vengono utilizzati in:
 - **Sistemi di sospensioni adattive** (MRF-140CG),
 - **Sistemi di controllo delle vibrazioni** (MRX-142EG)
- **Materiali a cambiamento di fase (PCM)**: cambiano **stato fisico** assorbendo o rilasciando **calore**. Ideali per:
 - **Gestione termica della batteria** (sali idrati)
 - **Controllo del clima nell'abitacolo** (acidi grassi)

Nei veicoli elettrici vengono largamente impiegate le **batterie agli ioni di litio**, che generano elettricità trasferendo ioni di litio da **anodo** a **catodo**, separati da uno **strato elettrolitico**.

- Il **catodo** è composto da uno strato sottile di **microcristalli** che combinano O^- con **Li** e altri metalli (come **Ni**, **Mn** e **Co**).
- Il **costo** di un pacco batterie al litio **scenderà sotto i 100\$ per kWh entro il 2025 (BNEF, 2021)** e gli EV raggiungeranno la parità di prezzo con le auto convenzionali entro fine anni 2020.
- Le **riserve attuali di litio** sono pari a **21 milioni di tonnellate** ma la domanda potrebbe crescere di sette volte tra il 2020 e 2030.
- Preoccupa principalmente il **cobalto** perché **molto tossico** e due terzi della fornitura mondiale **proviene dal Congo**, dove ci sono problemi relativi alle condizioni di lavoro.

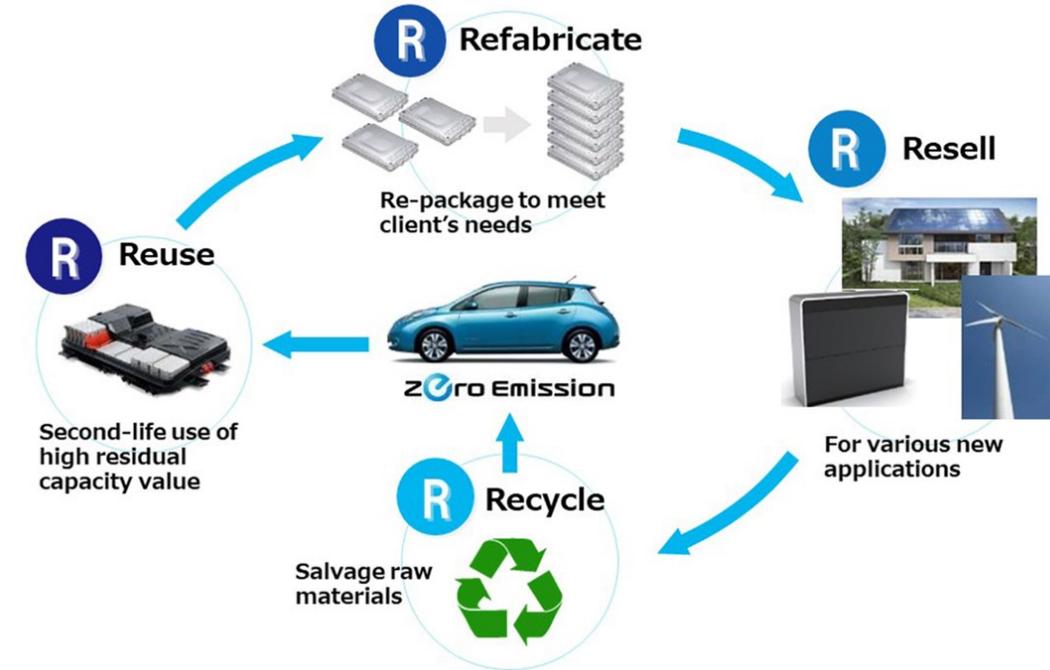


- **Batterie LCO**: basate sulla formula LiCoO_2 , hanno un'alta densità energetica, lunga durata ciclica e buona affidabilità, ma richiedono **uso importante di Co**.
- **Batterie LMO**: utilizzano principalmente MnO_2 , offrendo il vantaggio di usare **materiali abbondanti e non tossici**. LiMn_2O_4 è una formulazione LMO ben nota.
- **Batterie NMC**: i catodi delle batterie NMC (LiNiMnCoO_2) sono tra i più comuni perché offrono un'elevata energia specifica e **buone caratteristiche complessive**.
- **Batterie LFP**: anche le batterie LFP (LiFePO_4) sono molto utilizzate, sebbene abbiano una densità energetica inferiore. Recentemente, **Tesla è passata alle batterie LFP** dopo aver utilizzato principalmente tipi NCA in passato.
- **Batterie NCA**: con formule come $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$, offrono un **uso ridotto di Co** e una buona densità energetica.
- **Batterie LTO**: le batterie LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) hanno capacità di ricarica rapida, lunga durata ciclica e buone caratteristiche ambientali. Tuttavia, presentano una **densità energetica inferiore**.



Nel **riciclaggio**, le batterie vengono **triturate** e poi **suddivise** nei componenti elementari, fondendole in un forno (**pirometallurgia**) o dissolvendole in acido (**idrometallurgia**).

- In **Cina**, *Guangdong Brunp*, una filiale della **CATL** (il maggiore produttore cinese di celle agli ioni di litio), è in grado di riciclare **120.000t di batterie all'anno**, l'equivalente di **più di 200.000 auto**.
- La **Commissione Europea** ha proposto requisiti rigorosi per il riciclo delle batterie **a partire dal 2023**.
- Negli **USA**, l'amministrazione di **Biden** ha investito **miliardi di dollari** per l'industria delle batterie.
- **ReCell**, una iniziativa con fondi federali statunitensi, sta sviluppando tecniche per **estrarre e rivendere i cristalli del catodo**. Ai riciclatori servirà però un **codice a barre** standardizzato.
- Le batterie possono **durare fino a 20 anni**. Perciò, spesso non vengono né smaltite né riciclate, ma piuttosto **riutilizzate**. (Dopo **10 anni**, la batteria della *Nissan Leaf* perde solo il **20% di capacità**).



I materiali intelligenti migliorano la **sicurezza** e la **longevità** dei veicoli, integrando funzioni adattive che rispondono in tempo reale ai pericoli e rinforzi strutturali progettati per aumentare la resistenza.

- **Assorbimento degli impatti** (leghe a memoria di forma)

Alcuni materiali intelligenti si deformano in modo controllato durante un impatto, **assorbendo** e **dissipando** l'energia cinetica:

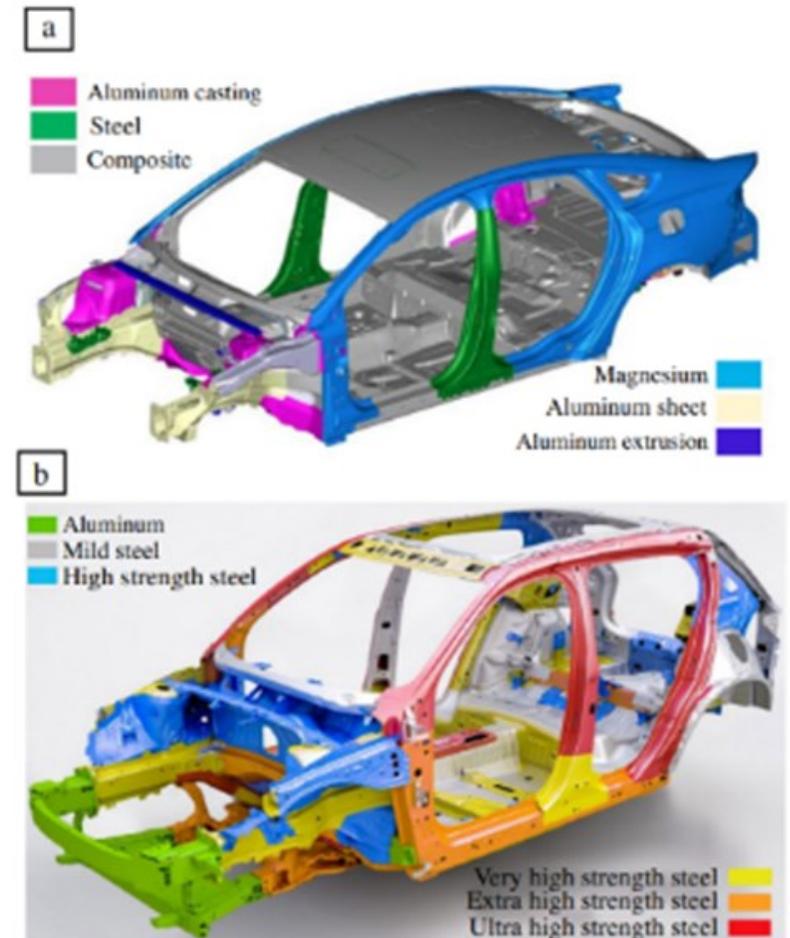
➡ **minimizzazione dei danni** e **protezione dei passeggeri**.

- **Rinforzo strutturale** (polimeri rinforzati con fibre)

I materiali intelligenti **rafforzano** le strutture portanti ed il telaio:

➡ **miglioramento dell'integrità strutturale** e della capacità di resistere a deformazioni o sollecitazioni a fatica.

➡ **prolungano la durata del veicolo** riducendo l'usura e la manutenzione.



I materiali intelligenti migliorano anche il **comfort** e l'**esperienza di guida** grazie alla loro adattabilità e personalizzazione, riducendo rumori e vibrazioni e garantendo stabilità e controllo durante la guida.

- **Sistemi di sospensioni attive (fluidi magnetoreologici)**

I materiali intelligenti impiegati nei sistemi di sospensioni adattive regolano continuamente le caratteristiche di **smorzamento** e la **rigidità** delle sospensioni:

⇒ riduzione delle vibrazioni e **miglioramento del comfort e della maneggevolezza**.

- **Riduzione del rumore (compositi piezoelettrici)**

I materiali intelligenti con proprietà di smorzamento acustico impiegati nei sistemi di **cancellazione attiva del rumore** attenuano i livelli di rumore percepiti all'interno dell'abitacolo:

⇒ contribuiscono a creare un **ambiente di guida più confortevole**.

Tesla, fondata in California nel **2003** da **Elon Musk**, è diventata nel tempo un **punto di riferimento globale** nell'industria degli EV.

- L'azienda ha intenzione di **eliminare il cobalto** dalle sue batterie ed **è passata all'uso di batterie LFP**, dopo aver utilizzato quelle a NCA.
- La maggioranza dei produttori usa motori a magneti permanenti senza spazzole (*BPM*), invece Tesla ha utilizzato **motori a corrente alternata (AC)**, che **non fanno uso di magneti in terre rare**.
- Il *Model S* richiedeva circa **3 km di cablaggio in rame ridotto a circa 1,5 km** nel *Model 3*, con ulteriori piani di riduzione in futuro.
- Tesla ha ampliato la sua missione **oltre la produzione di veicoli**, con lo sviluppo di soluzioni energetiche sostenibili (**batterie di accumulo per uso domestico e industriale, pannelli solari**).



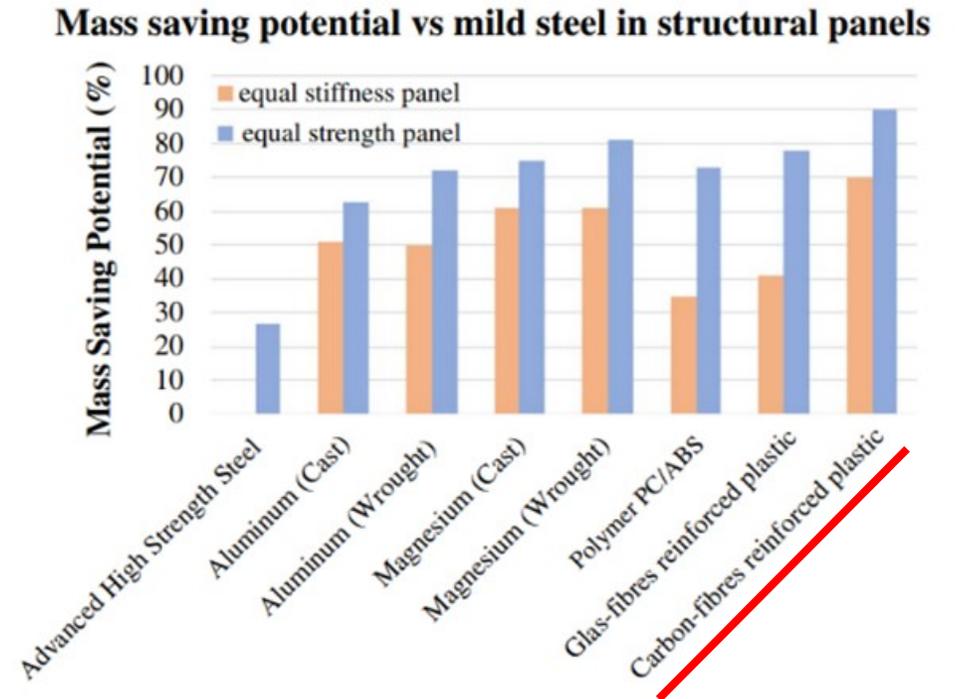
I motori elettrici erano considerati **troppo pesanti per le auto da corsa**, ma dei ricercatori dell'**Università di Oxford** in collaborazione con la **Morgan Motor Company** hanno sviluppato un motore elettrico **4 volte più piccolo** e con un'**efficienza del 10% superiore**.

- L'intuizione è stata realizzare un sistema in cui il **rotore** si comporta come una "**frittella che gira su una padella**", impiegando nuovi **materiali compositi** per ridurre le perdite energetiche.
- Nel **2009** questo prototipo è stato sviluppato in una spin-off, **Oxford Yasa Motors**, che nel **2021** è stata acquistata da **Mercedes-Benz AG**.
- I motori Yasa sono utilizzati in molte auto sportive e nel 2012 **Drayson Racing** ne ha realizzata una con **4 motori che generano 850 cv**.
- Questi motori, già sottoposti a parecchi test, sembrano destinati a equipaggiare non solo auto sportive ma **anche le auto di tutti i giorni**.



Anche BMW ha investito nei materiali intelligenti. In particolare, la **BMW i3** fa uso di **polimeri rinforzati con fibra di carbonio (CFRP)** nella struttura della carrozzeria.

- I **CFRP** riducono il **peso**, incrementando **efficienza** ed **autonomia**, e offrono una forte **rigidità strutturale**, migliorando anche la **sicurezza**.
- Però i **metalli** avranno ancora un ruolo importante: sono **più facili da lavorare** e richiedono processi **meno costosi**.
- L'uso pionieristico dei compositi avanzati da parte di BMW evidenzia il **potenziale rivoluzionario** di questi materiali nella produzione di veicoli elettrici, ispirando **sviluppi futuri**.
- Dall'impiego di materiali **leggeri e riciclabili come il CFRP**, emerge anche l'impegno di BMW verso la **sostenibilità** e la **responsabilità ambientale**.



Secondo **BloombergNEF**, entro il **2035** la **metà** dei veicoli passeggeri saranno auto elettriche. Infatti, **General Motors (2035)** e **Audi (2033)** hanno intenzione di cessare la vendita di modelli a benzina e diesel.

- Ci sarà una "*transizione da un sistema energetico basato sull'uso intensivo di combustibili a uno basato sull'uso intensivo di materiali*" (Agenzia Internazionale dell'Energia, 2021).
- L'adozione di **materiali intelligenti** negli EV deve ancora superare diverse **sfide**: **costi elevati**, **affidabilità**, **standardizzazione** e **scalabilità**.
- In questa tesi, è stato illustrato come i **veicoli elettrici utilizzino materiali non convenzionali** ed è stato sottolineato che il **riciclaggio sarà essenziale** per ridurre la dipendenza da materie prime vergini.
- In sintesi, i **materiali intelligenti** stanno rivoluzionando l'industria automobilistica, contribuendo a un **trasporto più pulito**, sebbene con **incertezze sui tempi** e sulla **portata** dei miglioramenti.

