

Fondamentali per orientarsi nella evoluzione in corso verso il veicolo ibrido ed elettrico

Prof. Giovanni BELINGARDI



Politecnico
di Torino



Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale
CARS - Center for Automotive Research and Sustainable mobility

- Introduzione
- Energia e potenza installate a bordo veicolo
- Vantaggi attesi dai Veicoli Ibridi ed Elettrici
- Evoluzione delle celle e dei pacchi batteria
- Installazione a bordo veicolo del pacco batteria e soluzioni di architettura del veicolo
- Conclusioni

Emissioni di gas serra nell'UE suddivisi per inquinante

2019

GHG
GreenHouse Gases
Gas Serra



<0,2% di perfluorocarburi (PFC), mix non specificato di perfluorocarburi e idrofluorocarburi, esafluoro di zolfo (SF6) e trifluoruro di azoto (NF3)

La percentuale totale è diversa da 100% a causa dell'arrotondamento delle cifre

* Totale emissioni gas serra esclusi uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura

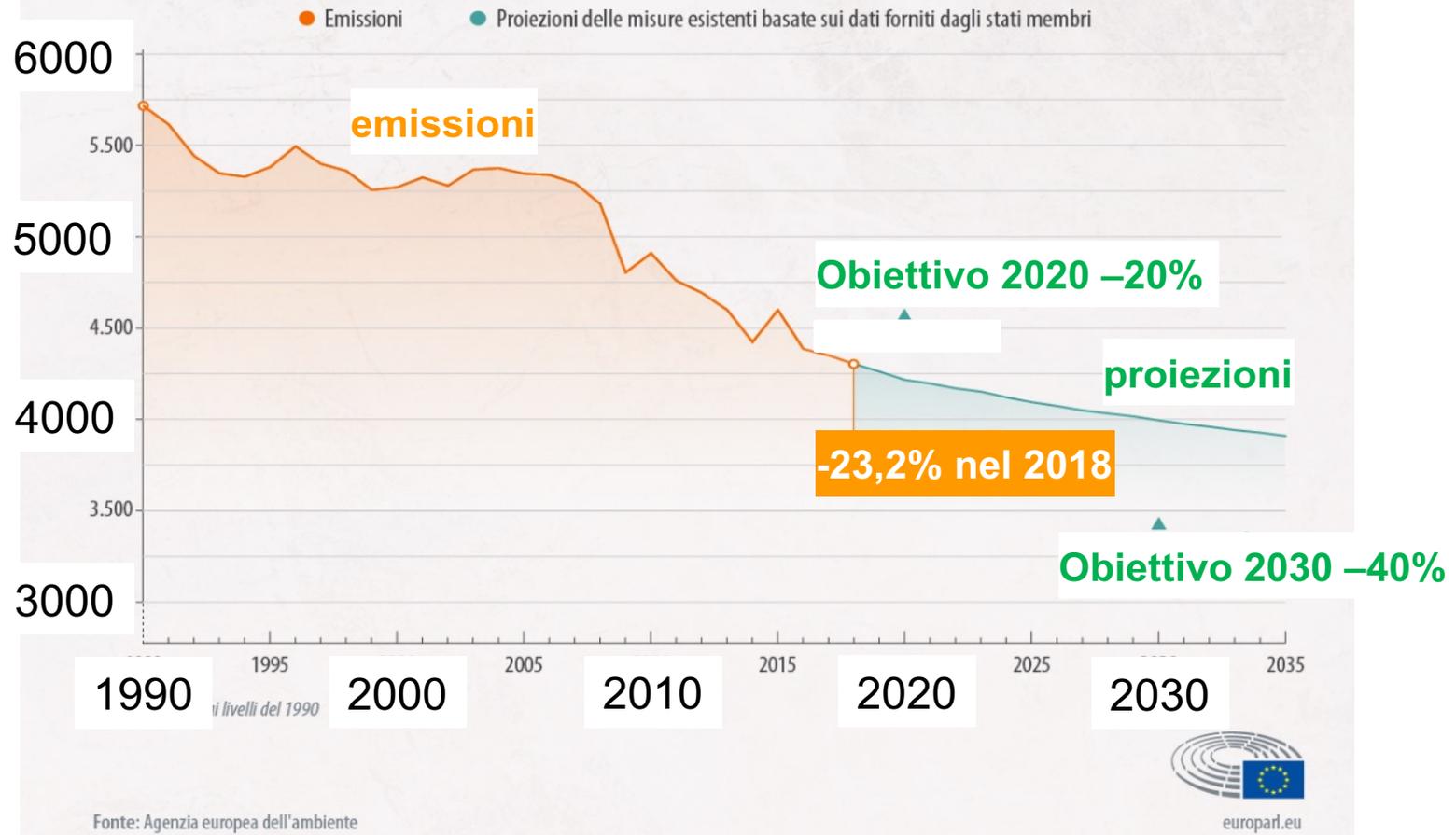
Fonte: Agenzia europea dell'ambiente (EEA)



Andamento delle emissioni di gas serra

Emissioni, proiezioni e obiettivi per l'UE

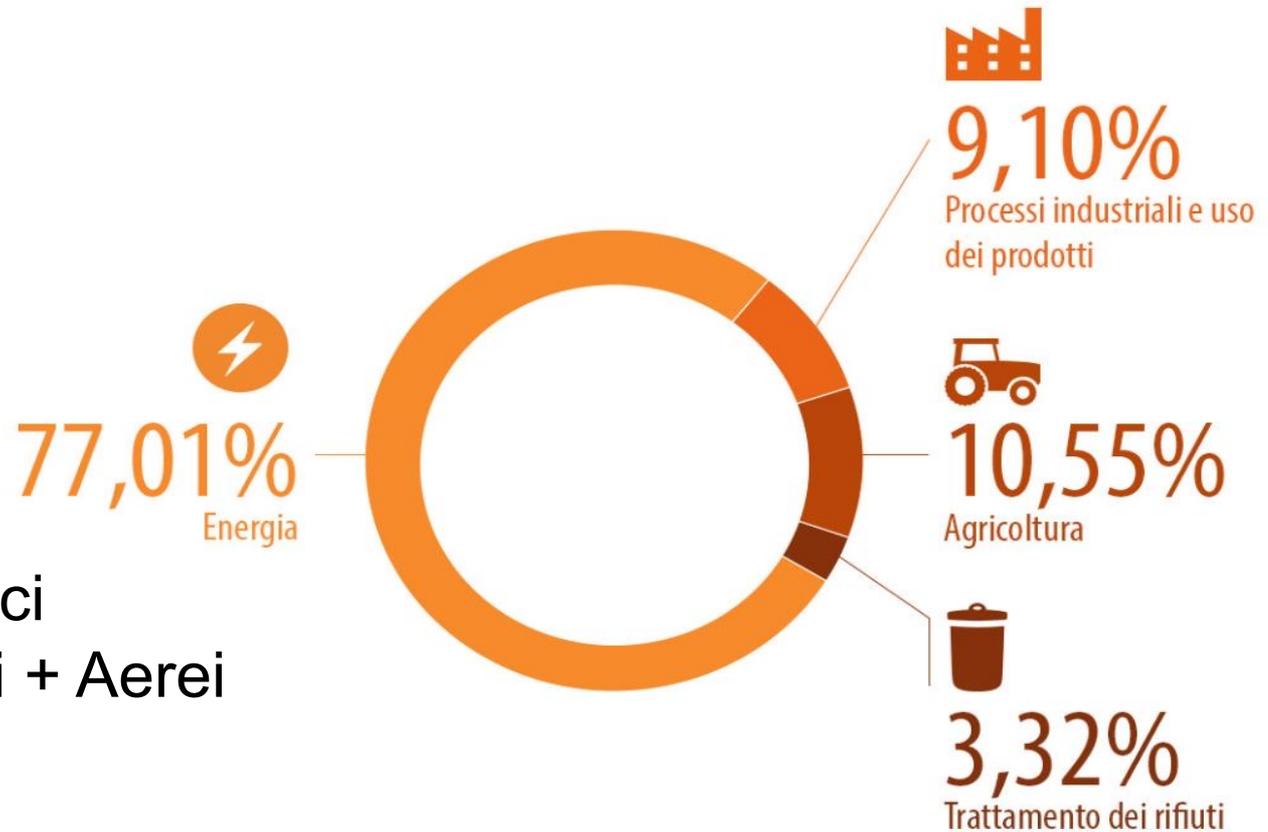
[Equivalenza in milioni di tonnellate di CO₂]



Emissioni di gas serra nell'UE divise per settore* nel 2019

Di questi un terzo
quindi circa 26%
sono legate ai
trasporti

Passeggeri + Merci
Autoveicoli + Navi + Aerei



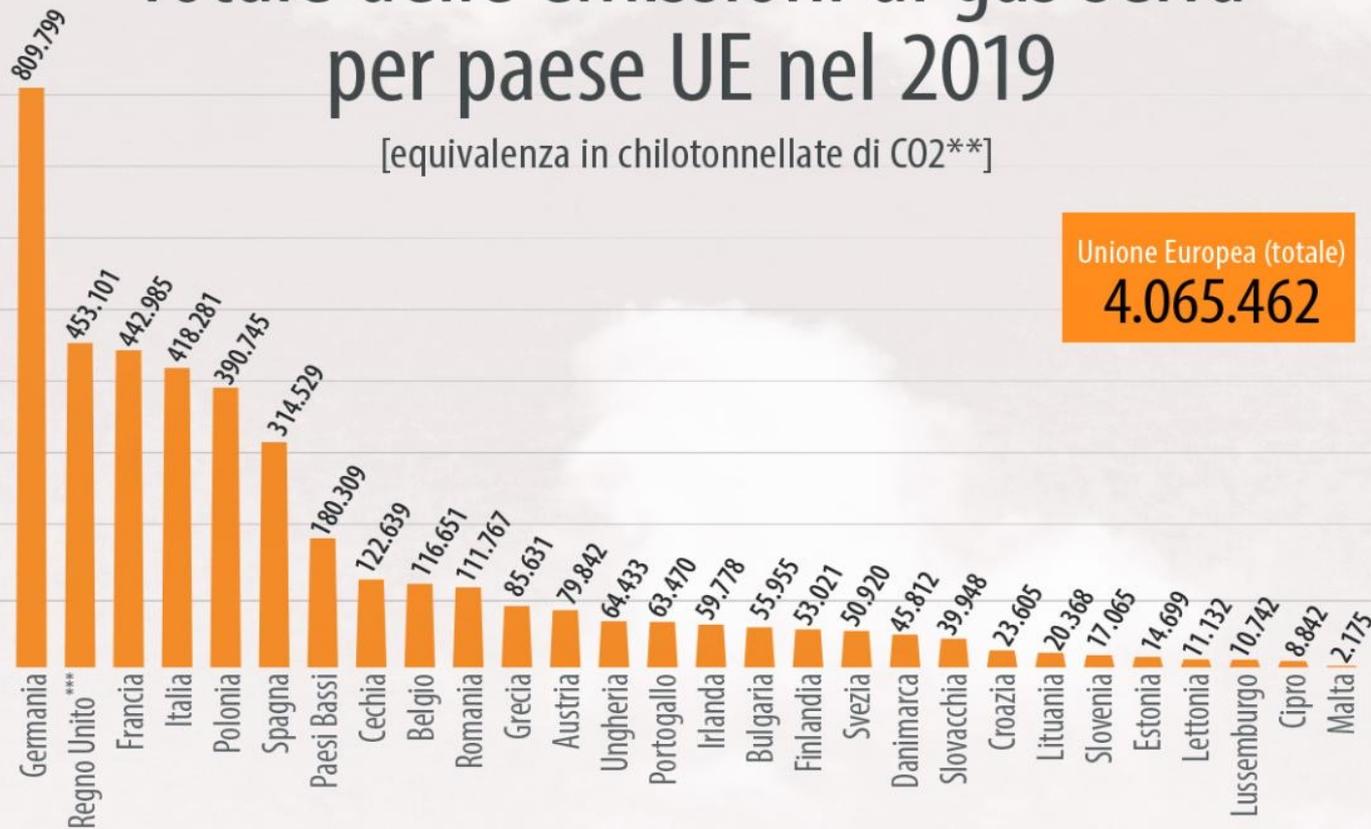
*Tutti i settori esclusi uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (LULUCF)
La percentuale totale è diversa da 100% a causa dell'arrotondamento delle cifre

Fonte: Agenzia europea dell'ambiente (EEA)



Totale delle emissioni di gas serra per paese UE nel 2019

[equivalenza in chilotonnellate di CO2**]



*Tutti i settori esclusi uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (LULUCF)

** CO2, equivalente in CO2 di N2O, equivalente in CO2 di NH4, equivalente in CO2 di idrofluorocarburi, equivalente in CO2 di PCF, equivalente in CO2 di SF6, equivalente in CO2 di NF3

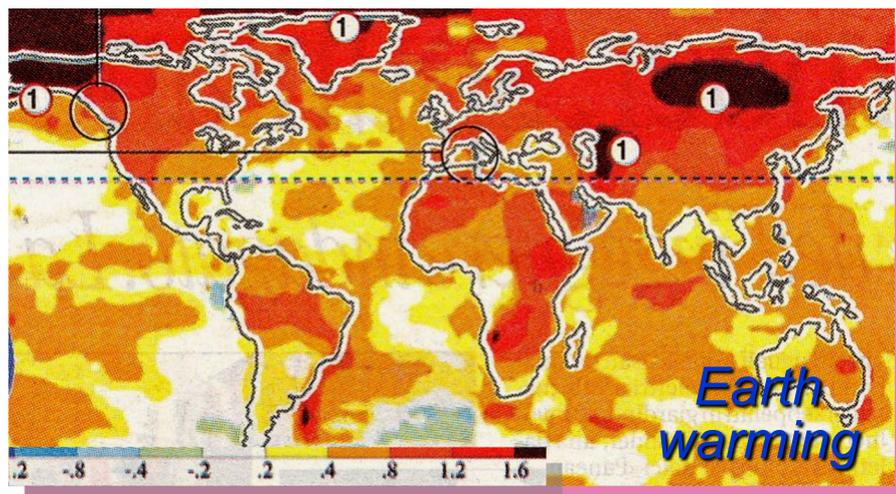
***Nel 2019 il Regno Unito faceva ancora parte dell'UE

Fonte: Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici



© EUEP

Riscaldamento globale e emissioni GHG dai veicoli



Courtesy of G. Cipolla

Dalla combustione dei carburanti nei motori si originano:

- Gas inquinanti nocivi (CO , NO_x , HC , PM_x , ...)
- Gas serra (CO_2 ed altri)

C'è una diretta proporzionalità tra le emissioni di CO_2 e il consumo di combustibile → Per ridurre le emissioni di CO_2 è necessario innanzitutto ridurre i consumi di carburante.

Impatto della massa del veicolo sulla sua propulsione

Energia Cinetica $E_{kin} = m \cdot v^2 / 2$

$$F_{tot} = F_{aer} + F_{rolling} + F_{acc} + F_{grad}$$

$$F_{aer} = \rho \cdot C_x \cdot A \cdot v_x^2 / 2$$

$$F_{rolling} = k_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$F_{acc} = k_m \cdot m \cdot a_x$$

$$F_{climb} = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

F_{tot} Resistenza
Totale al moto di
avanzamento del
veicolo

Impatto della massa del veicolo sulla sua propulsione

Energia Cinetica $E_{kin} = m \cdot v^2 / 2$

$$F_{tot} = F_{aer} + F_{rolling} + F_{acc} + F_{grad}$$

$$C_{res} = F_{tot} * R_{ruota}$$

Coppia alle ruote

$$W_{res} = C_{res} * \omega_{ruota} = F_{tot} * v_{veicolo}$$

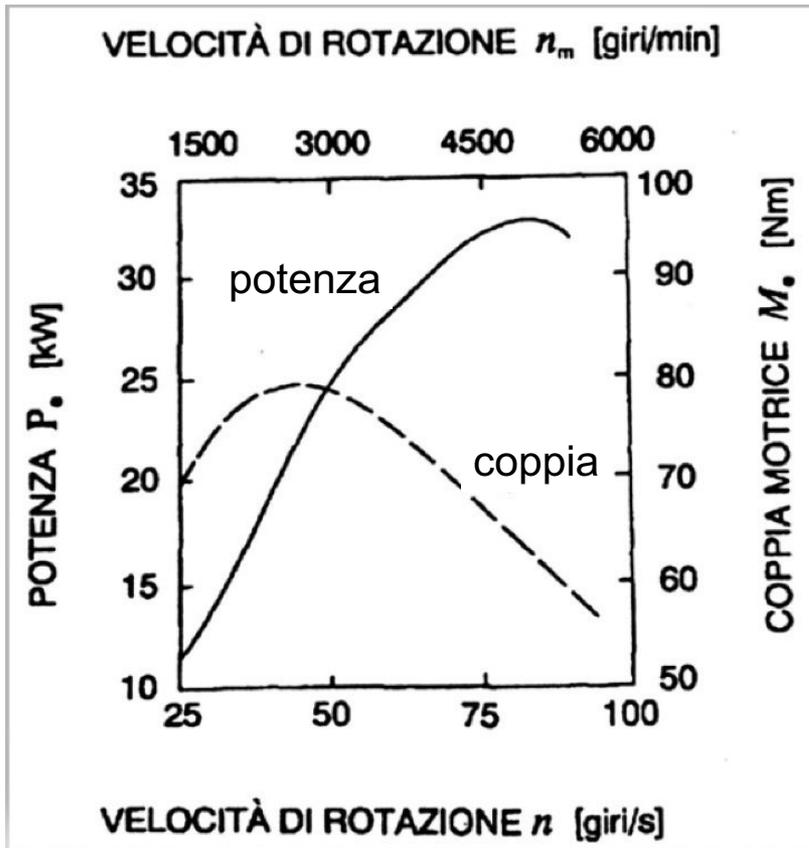
Potenza alle ruote

$$W_{res} \approx k(m, A, cx, \dots) * v_{veicolo}^3$$

Potenza richiesta per il moto di avanzamento del veicolo

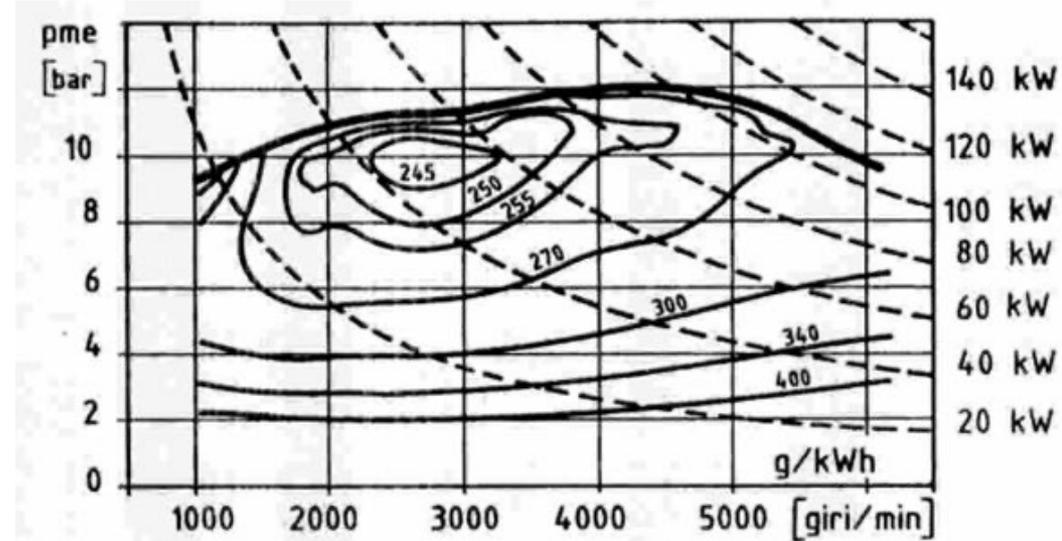
Impatto della massa del veicolo sulla sua propulsione

Tipica caratteristica coppia – velocità e potenza – velocità di un motore termico



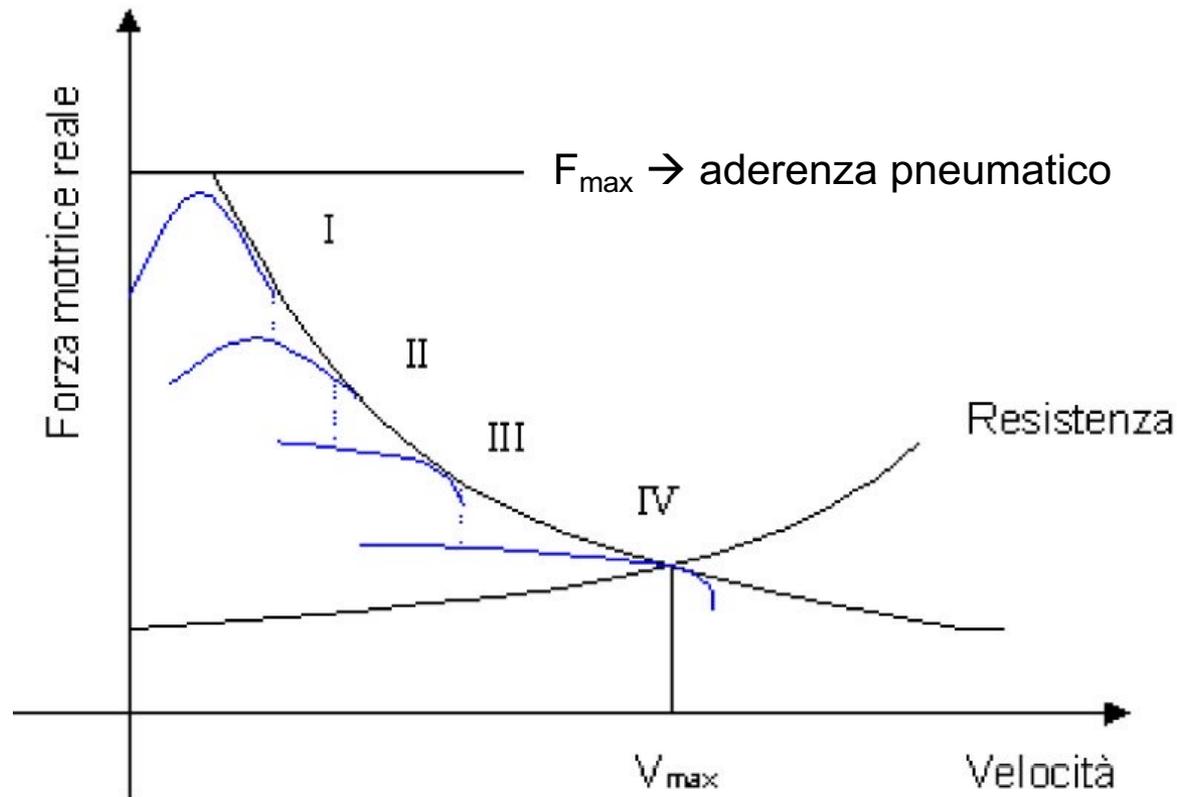
Tipica caratteristica (piano quotato) dei consumi carburante di un motore termico

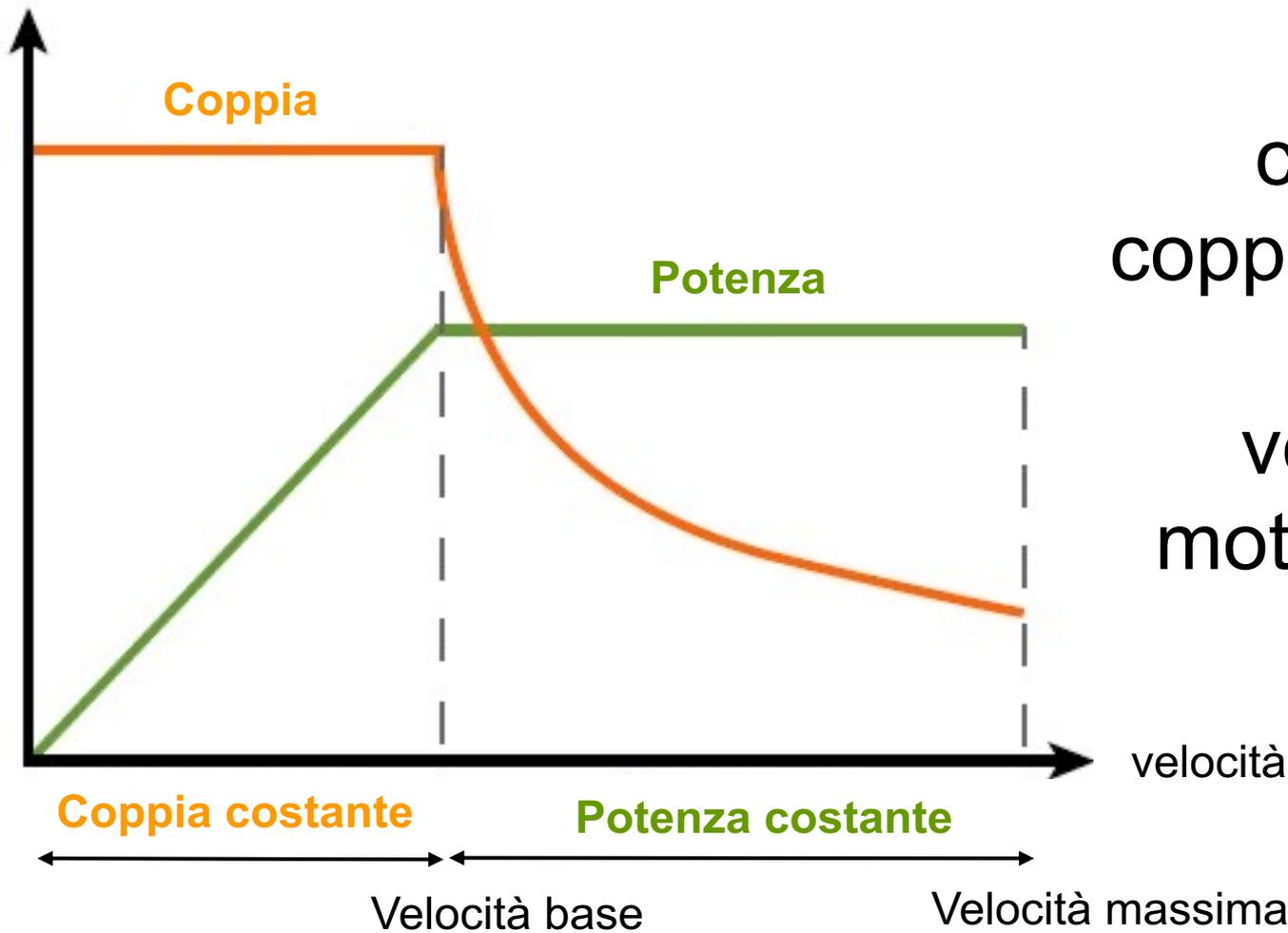
pme – pressione media effettiva



Impatto della massa del veicolo sulla sua propulsione

Tipico bilancio forza resistente – forza disponibile alle ruote per un veicolo con motore termico e cambio a 4 marce

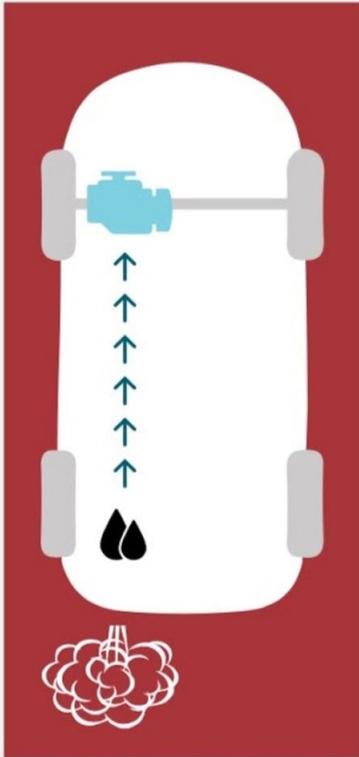




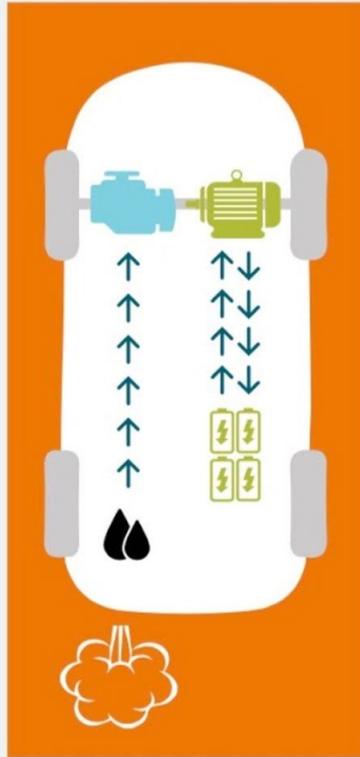
Tipica
caratteristica
coppia – velocità
e potenza –
velocità di un
motore elettrico

Nomenclatura per i diversi Veicoli ibridi – **plug-in**

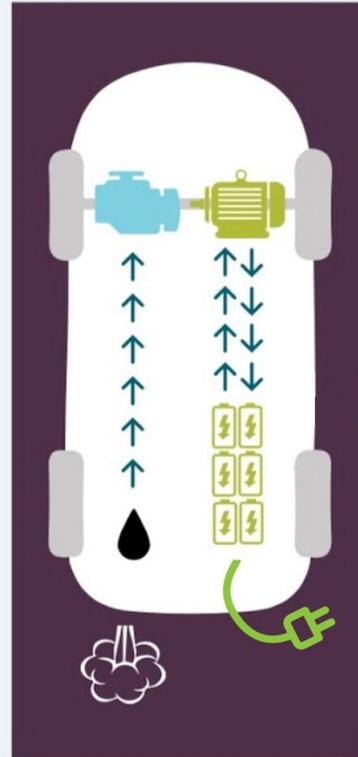
VEICOLO
A COMBUSTIONE



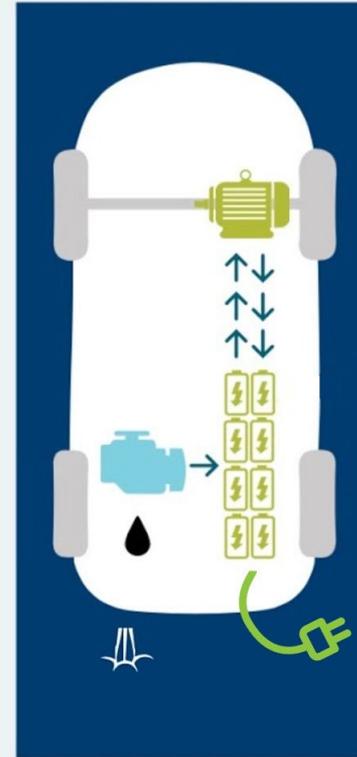
VEICOLO IBRIDO
(NON PLUG-IN)



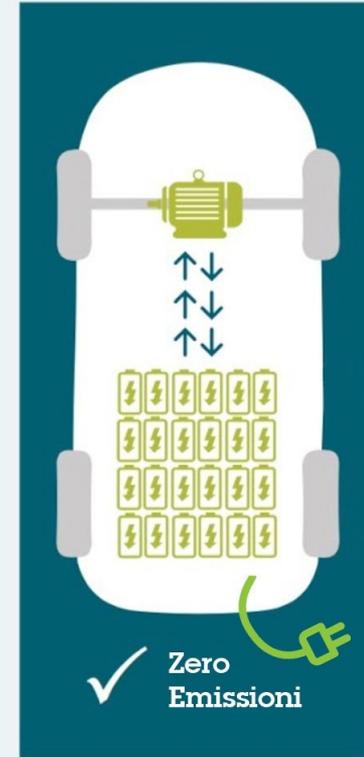
VEICOLO IBRIDO PLUG-IN
PARALLELO [PHEV]



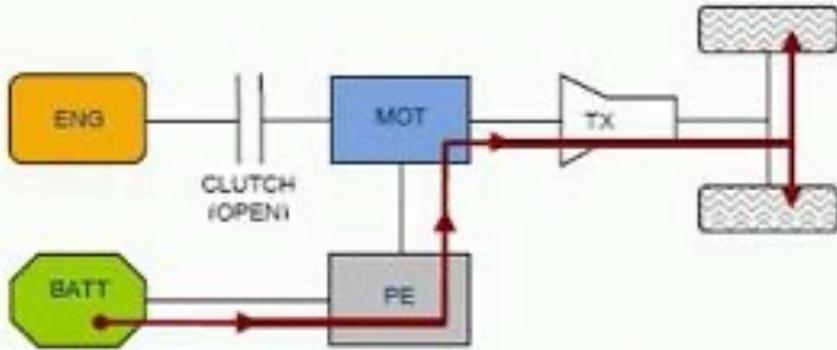
VEICOLO IBRIDO PLUG-IN
SERIE [PHEV]



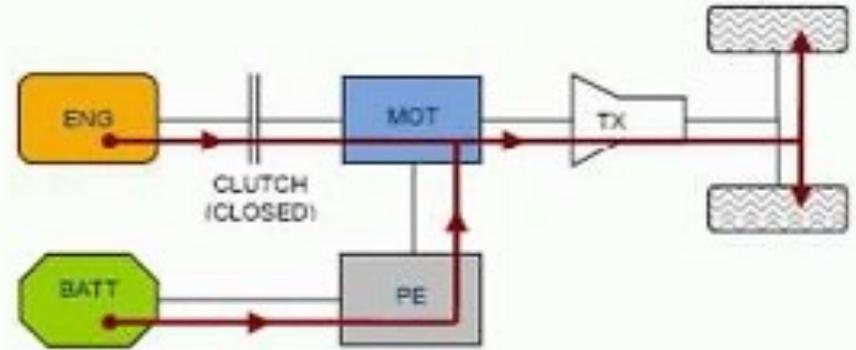
VEICOLO ELETTRICO
[BEV]



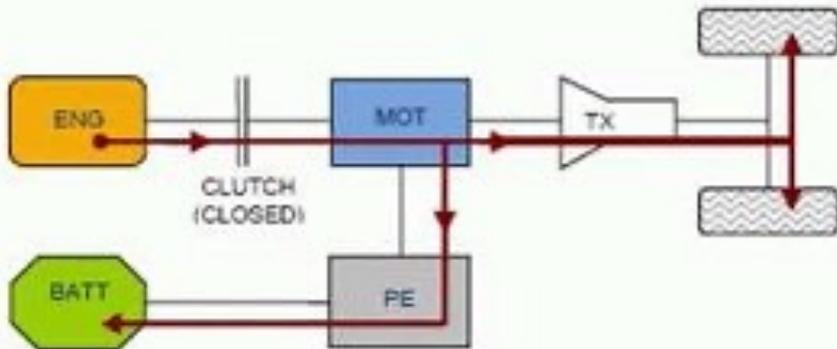
Modi di Funzionamento di un Veicolo ibrido P2



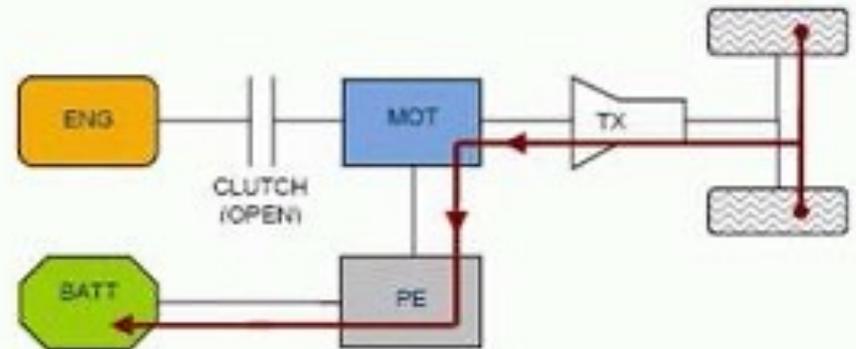
A - Solo elettrico



B - Ibrido - tutti e 2 i motori danno coppia



C - Ibrido - La macchina elettrica fa da generatore e carica la batteria



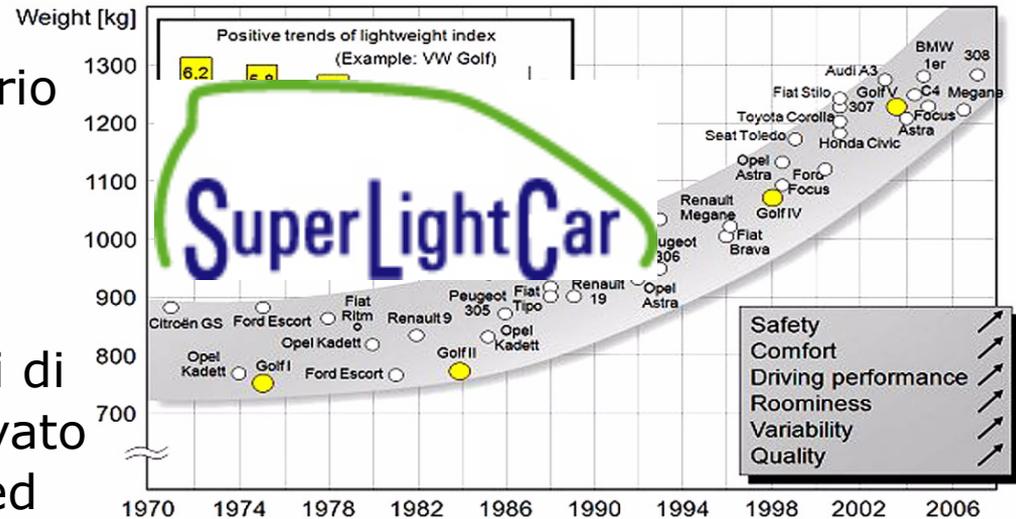
D - Frenata rigenerativa

ENG - motore termico, MOT - motore elettrico, TX - trasmissione, Clutch - frizione

Problemi ambientali nei trasporti con autoveicoli

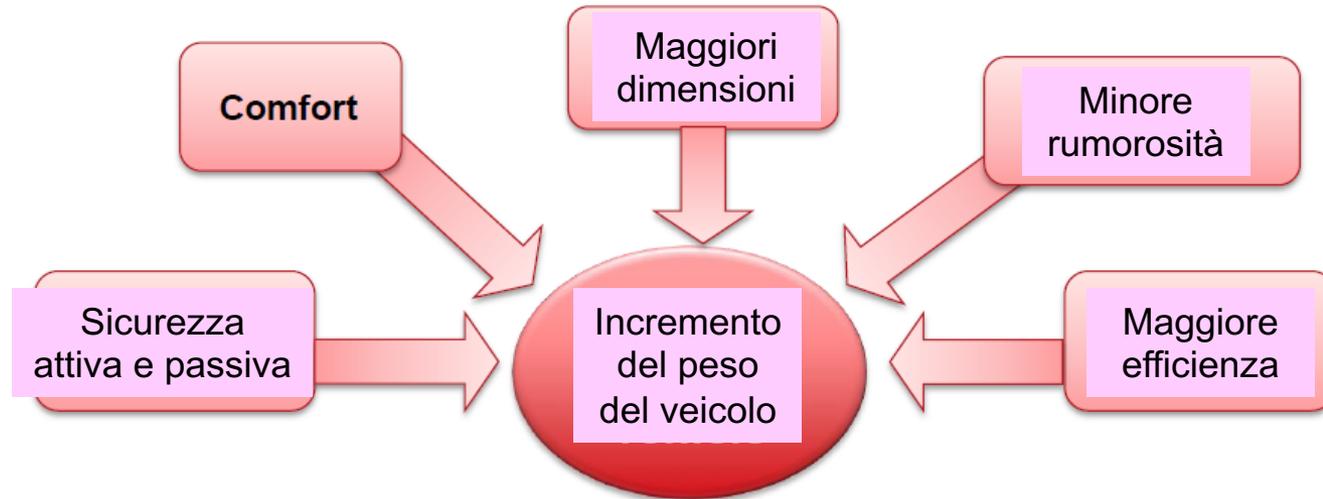
Due aspetti confliggenti sono emersi:

- Per ridurre le emissioni di anidride carbonica è necessario ridurre la massa del veicolo
- Il peso di un veicolo è stato continuamente in crescita a seguito dei crescenti requisiti di sicurezza ma anche per l'elevato numero di equipaggiamenti ed accessori per il soddisfacimento delle attese dei clienti



La riduzione del peso del veicolo è un punto chiave ma è un obiettivo difficile

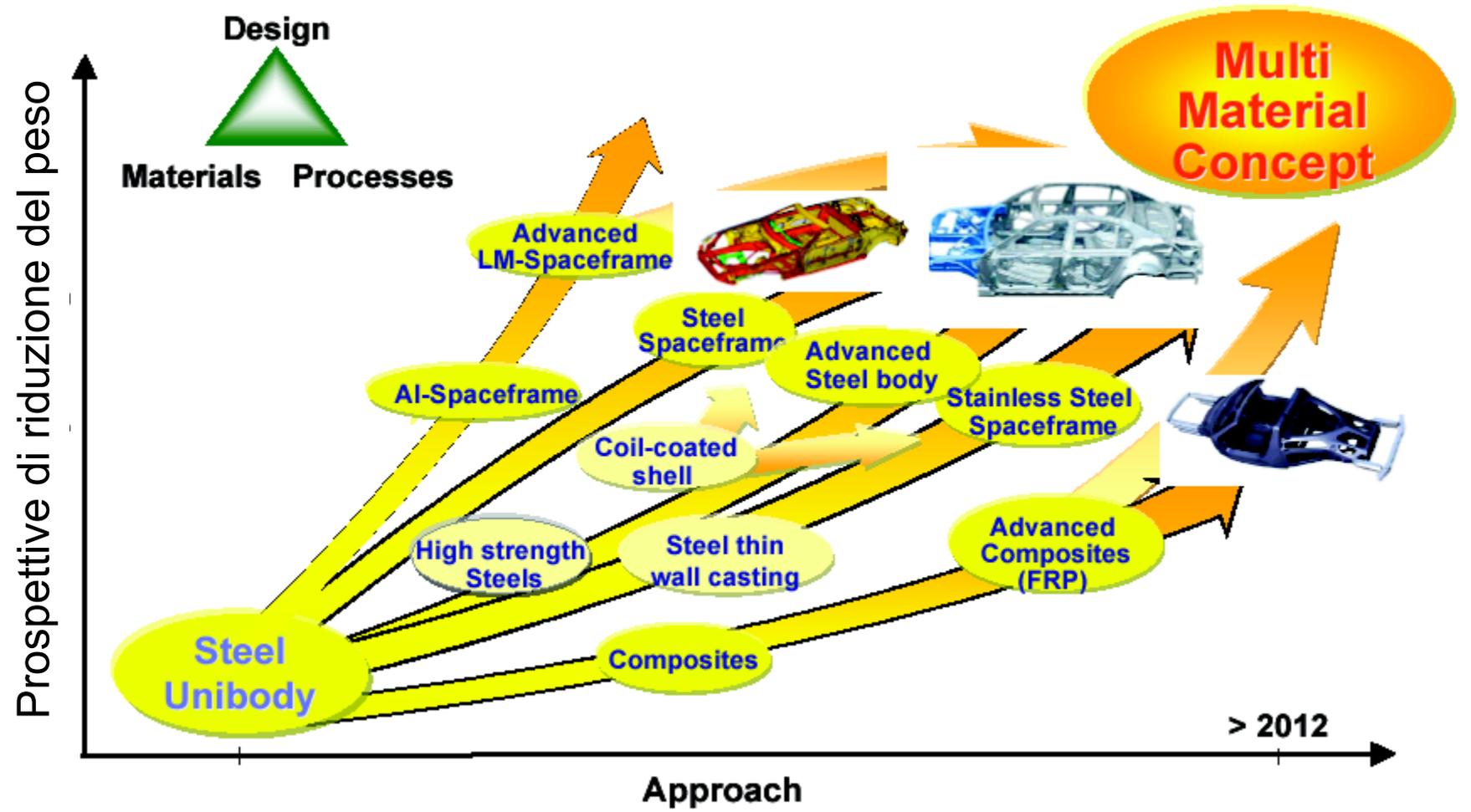
Problemi ambientali nei trasporti con autoveicoli



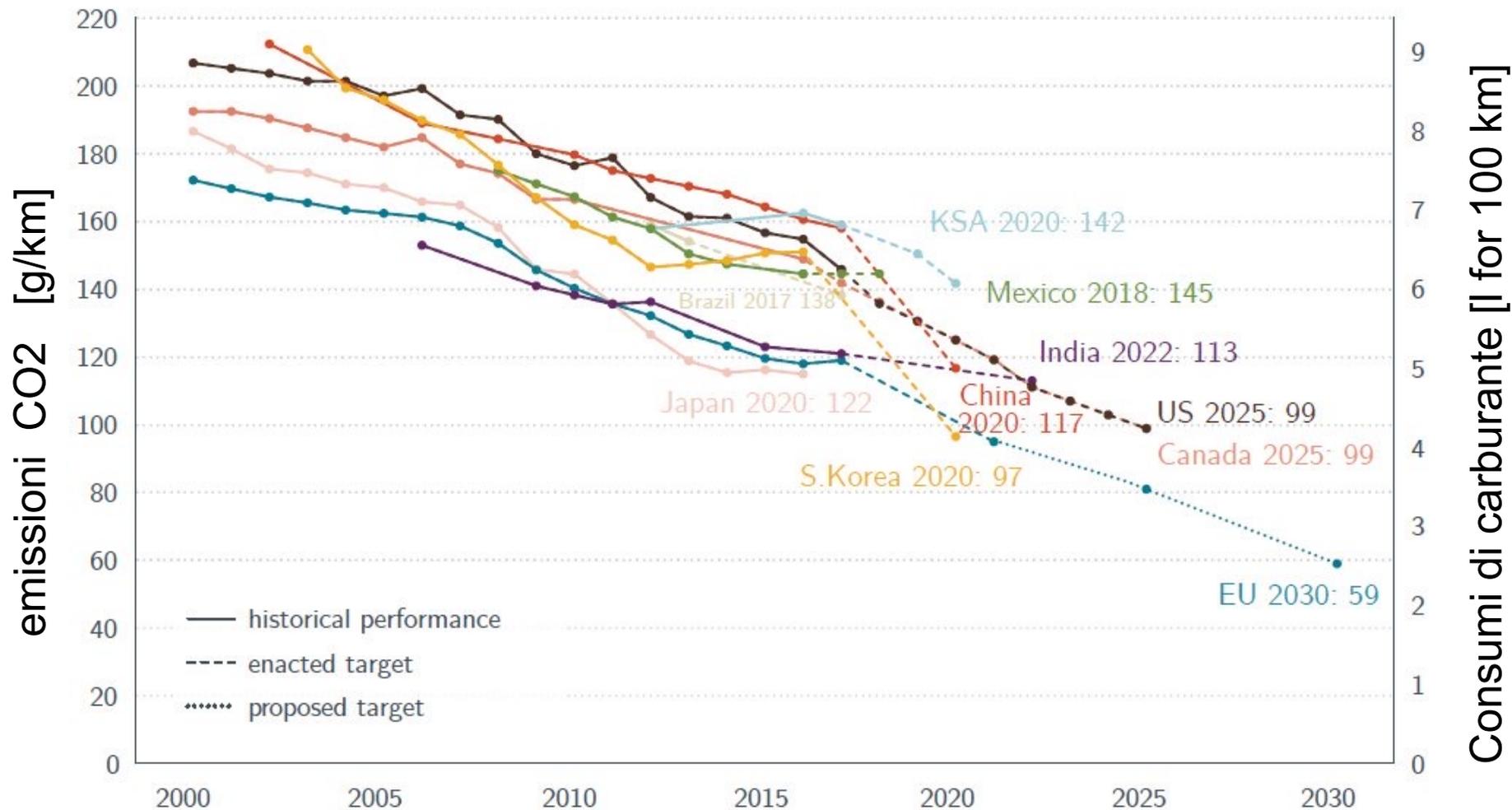
	1978 – FIAT Ritmo	2018 – FIAT Tipo
Engine system		+ 20 % (300 Kg)
Body e Chassis		+ 30 % (380 Kg)
Electronic components		+ 100 % (100 Kg)
Interiors Components		+ 100% (310 Kg)

	FIAT Ritmo 1.9 TD 80hp	FIAT Tipo 1.6 Diesel 120p	Δ
Fuel consumption (l/100km)	6.0	4.6	- 23.3%
Weight (kg)	1100	1270	+ 13.4 %

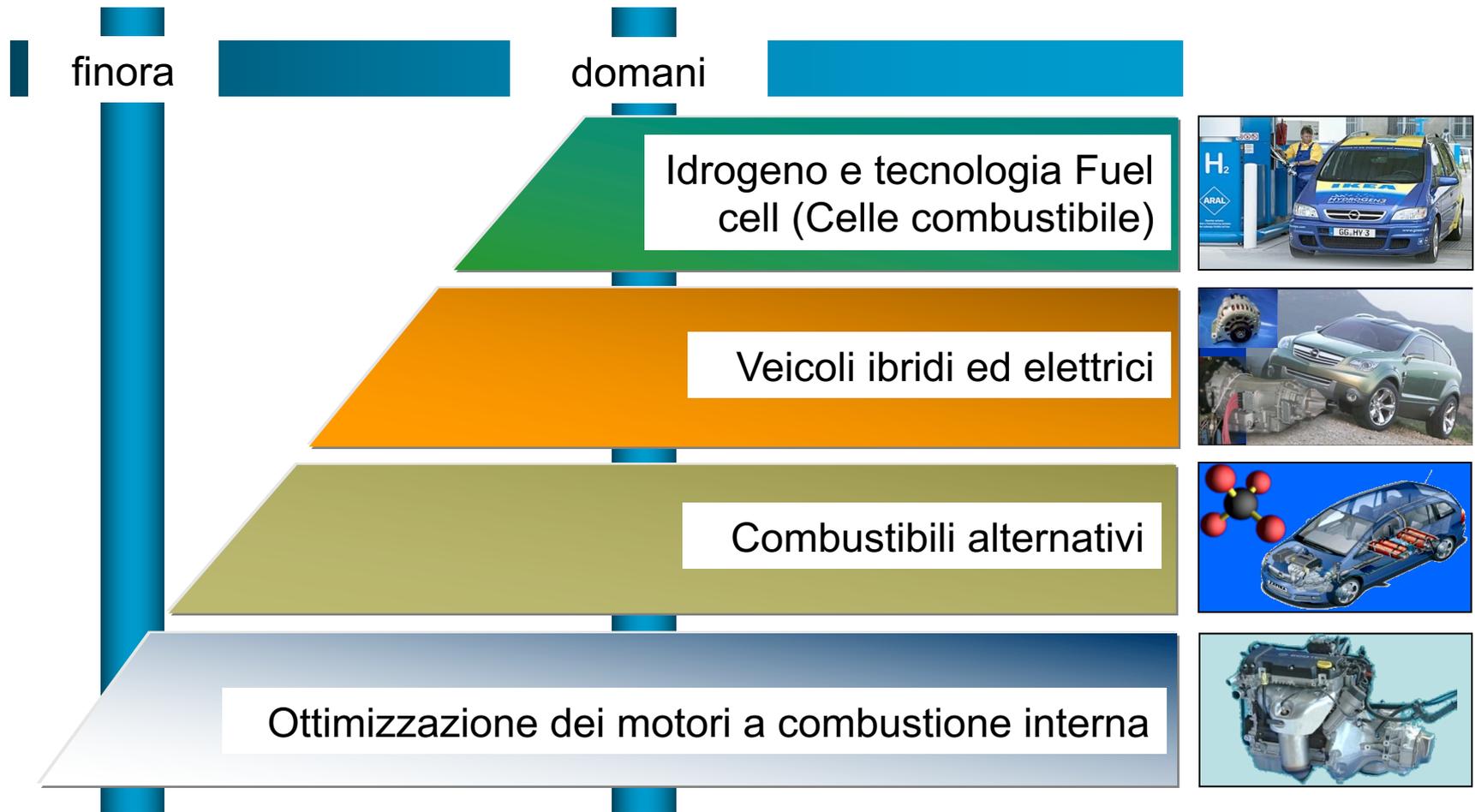
(100 kg weight reduction reduce fuel consumption ~5%)



Evoluzione delle prescrizioni per le nuove omologazioni



Evoluzione dei sistemi di propulsione per autoveicoli



L'attuale sistema di produzione della energia elettrica è in grado di produrre la maggiore quantità di energia necessaria rifornire anche i veicoli elettrici ?

Quale tipo di centrali ?

La produzione di energia elettrica green (idro, solare, pale eoliche, maree)

Stazioni (colonnine) e tempi di ricarica

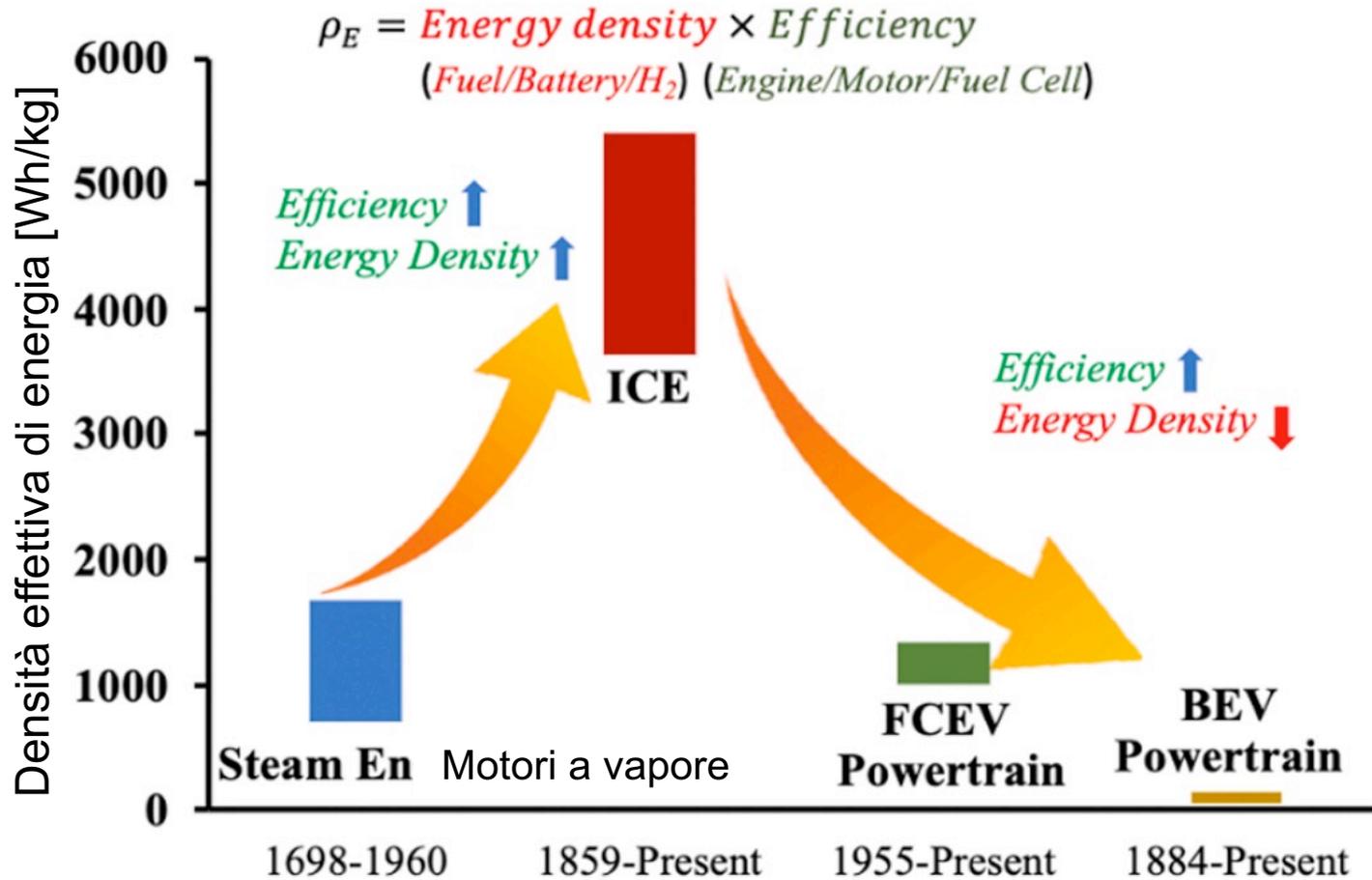
L'idrogeno è elemento molto presente in natura (acqua) ma non facilmente separabile dall'ossigeno

La produzione dell'idrogeno richiede la spesa di molta energia → attesa di tecnologie

La rete di distribuzione dell'idrogeno non è disponibile e è molto vulnerabile

Stoccaggio dell'idrogeno comporta pericoli di incendio ed esplosioni

Evoluzione dei sistemi di propulsione per autoveicoli

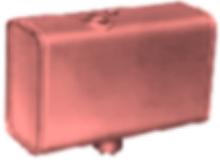


Densità effettiva di energia = energia disponibile / peso sistema di propulsione (inclusi serbatoio e batterie)

Densità effettiva di energia di veicoli con motori a combustione interna, celle combustibile e motorizzazioni elettriche con batterie

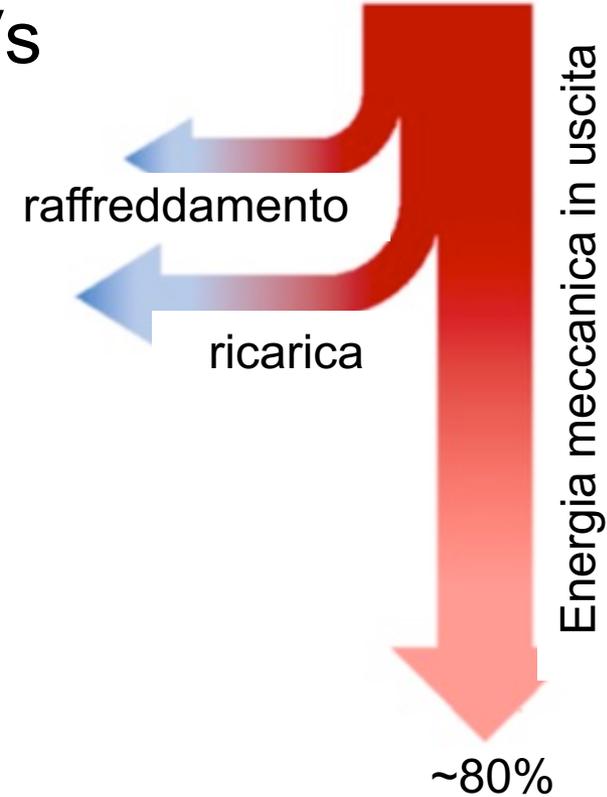
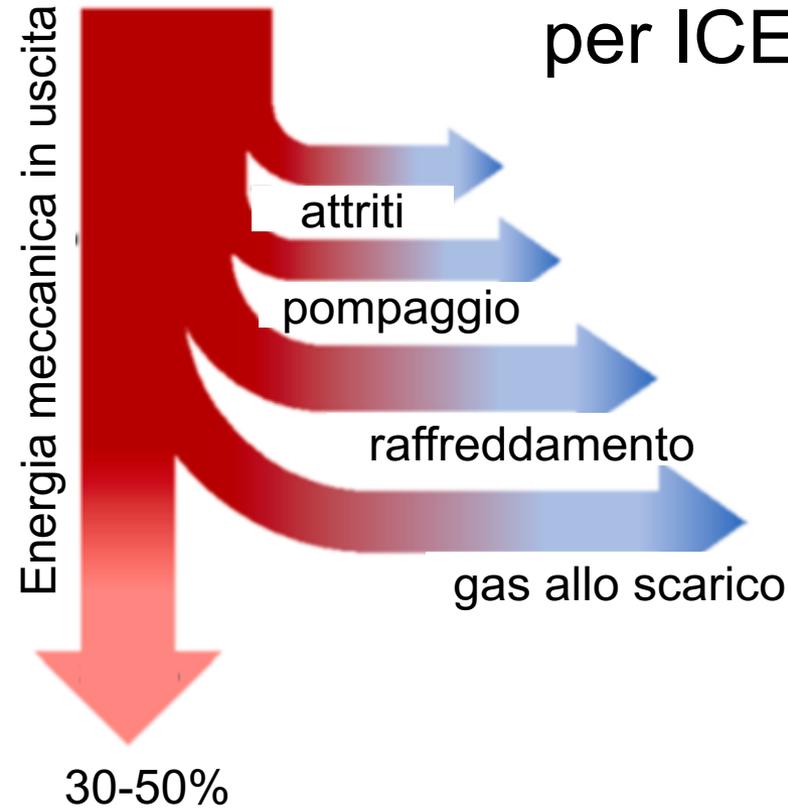
Evoluzione dei sistemi di propulsione per autoveicoli

Idrocarburi nel serbatoio



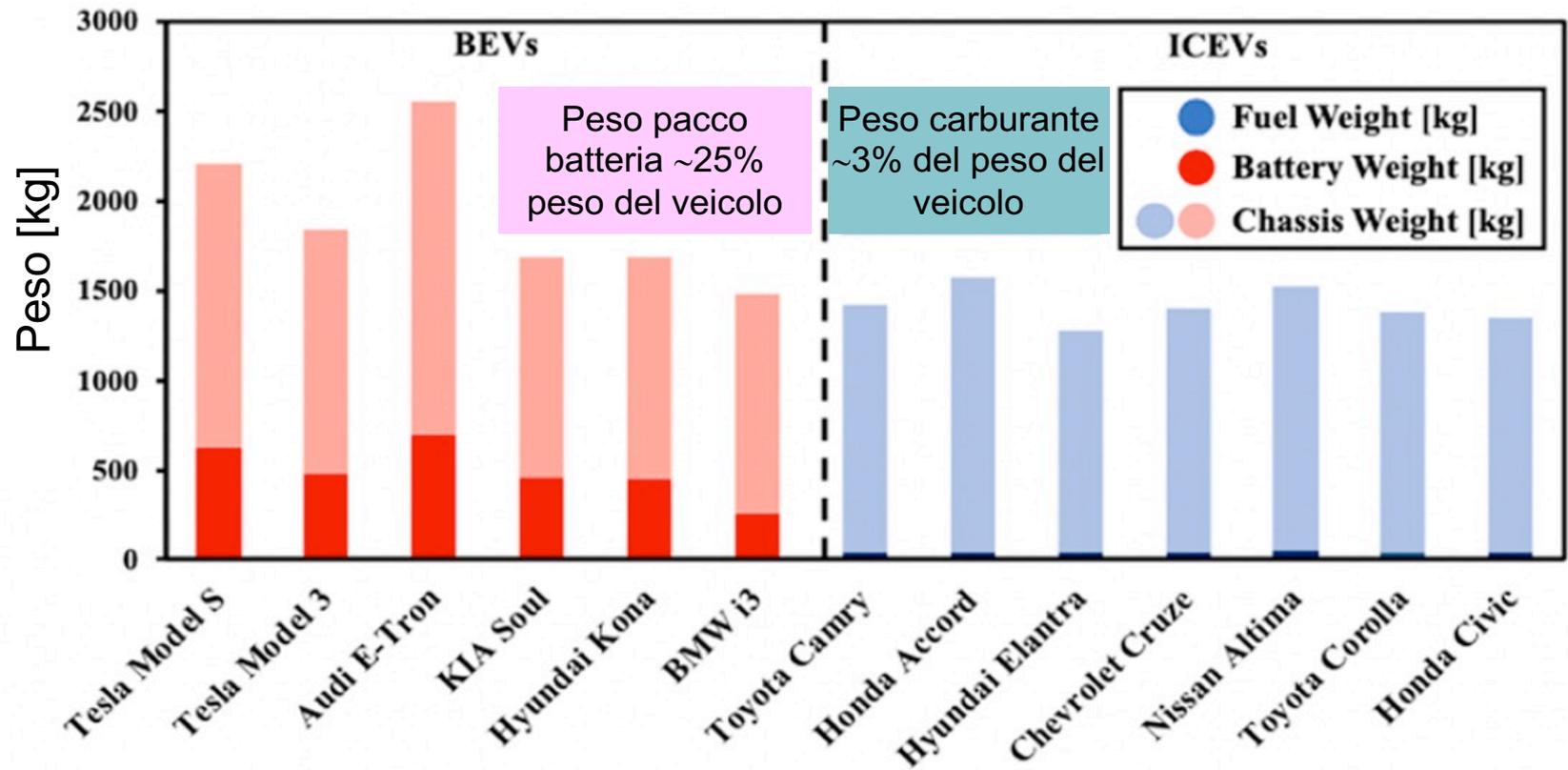
Perdite di energia nel trasferimento dal serbatoio alle ruote per ICEVs e BEVs

Pacco batteria

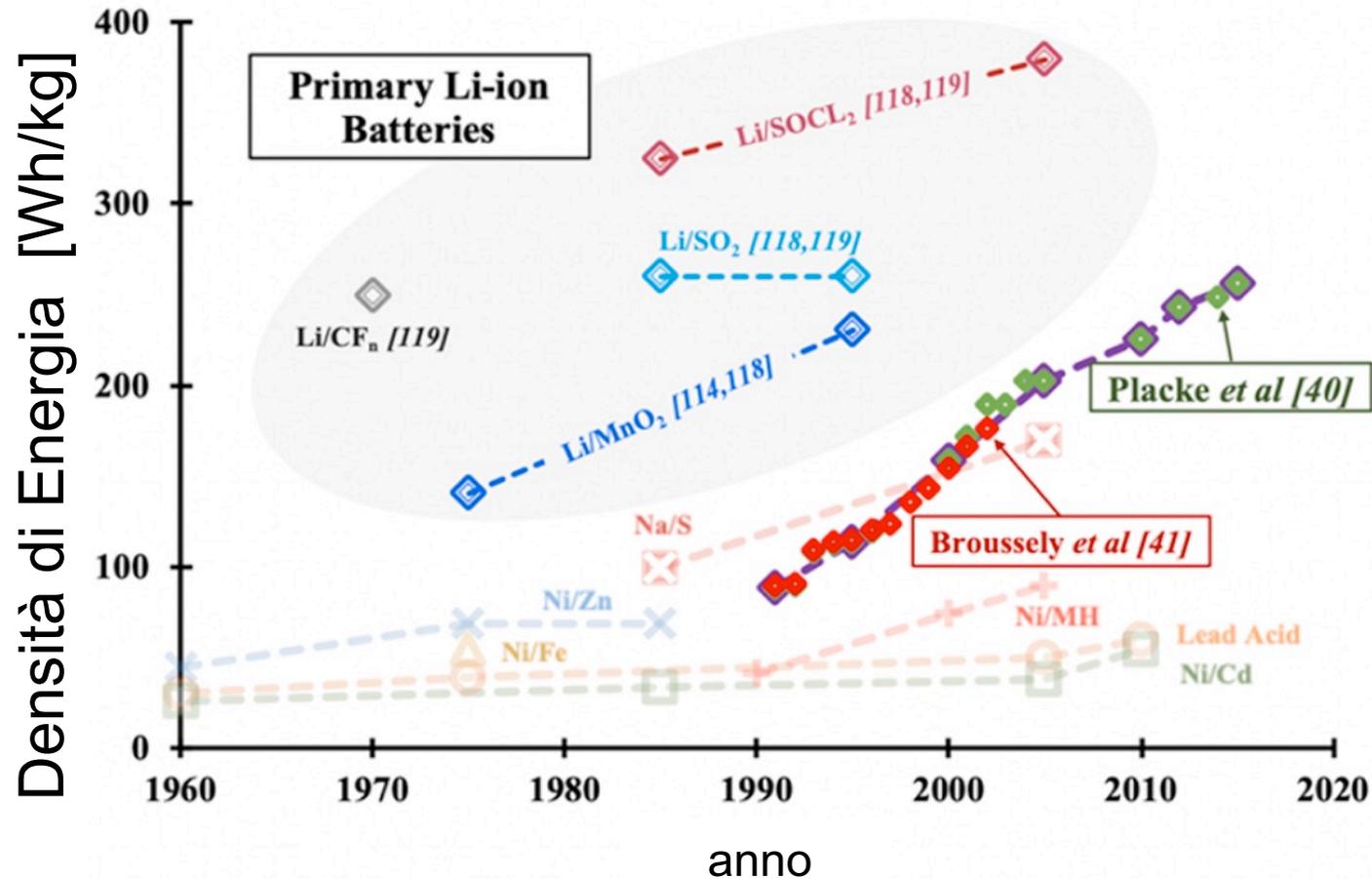


Evoluzione dei sistemi di propulsione per autoveicoli

Confronto dei pesi delle sorgenti di energia per i BEVs e i ICEVs



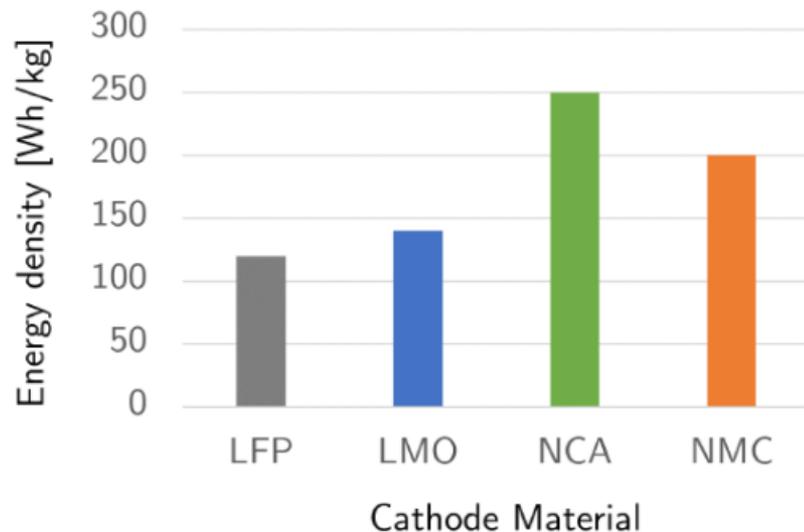
Celle per Batterie e Pacchi Batteria



Evoluzione della densità di Energia delle Cella Batteria

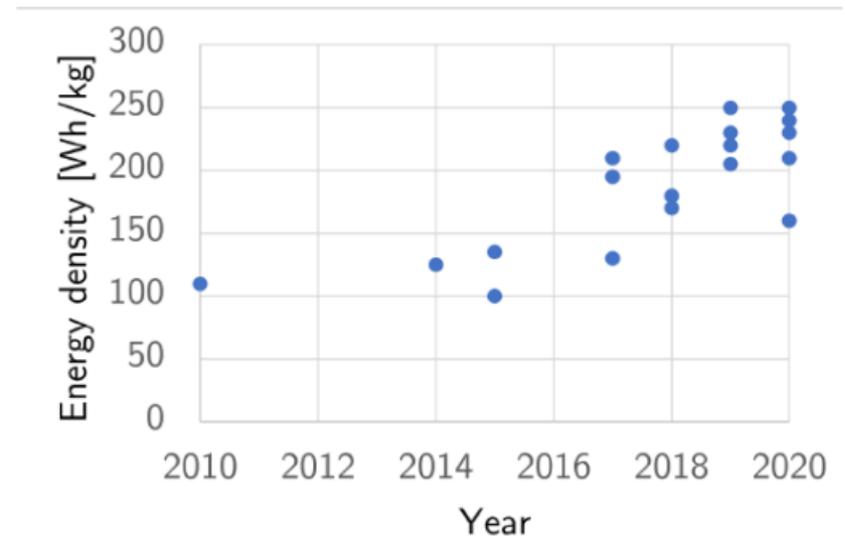
Celle per Batterie e Pacchi Batteria

Confronto dei valori di energia ottenibili con diversi materiali per i catodi



Lithium Ferrophosphate (LFP),
Lithium Manganese Oxide (LMO),
Lithium Cobalt Aluminium Oxide (NCA),
Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide (NMC)

Progressivo miglioramento tecnologico per celle prismatiche



Densità di energia per celle batteria

Chi detiene il monopolio (o quasi) dei materiali (Litio, cobalto, ...) necessari per la costruzione delle batterie?
E il monopolio (o quasi) nella produzione delle batterie?

Valutazione dell'impatto ambientale dei processi di costruzione delle batterie (LCA obbligatoria)

Gestione del fine vita delle batterie (invecchiamento) –
Riciclo ? Riutilizzo ? Recupero dei materiali ?

Stazioni (colonnine) e tempi di ricarica

Celle per Batterie e Pacchi Batteria

Cylindrical



Steel casing
energy capacity < 20 Wh

Brick



Steel or aluminum casing
energy capacity ≈ 700 Wh

Pouch



Soft packaging
energy capacity ≈ 300 Wh

Confronto fra diverse celle batteria a base litio:
forma del contenitore e capacità di carica

cella batteria vs pacco batteria

Cell level



Valori tipici di
densità di energia

270 Wh/kg
690 Wh/l

Pack level

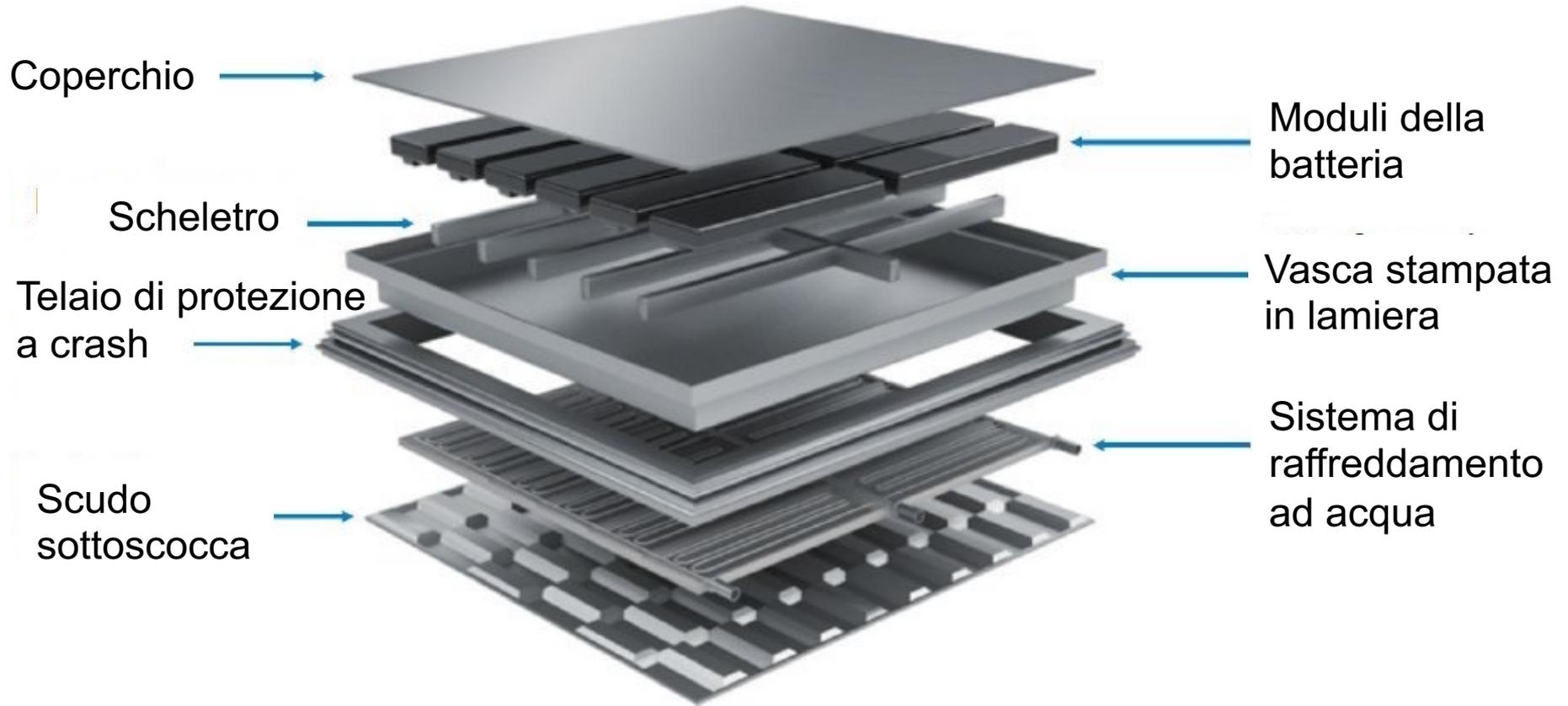


Valori tipici di
densità di energia

170 Wh/kg
250 Wh/l

Confronto fra una cella batteria tipo pouch (sulla sinistra) e un pacco batteria (sulla destra) utilizzati sul mercato dei veicoli

Struttura per il pacco Batteria

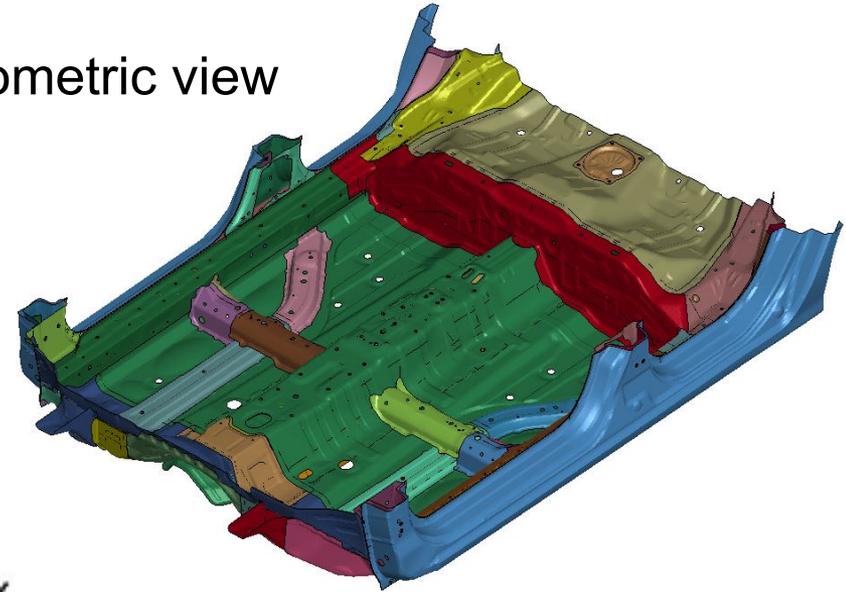
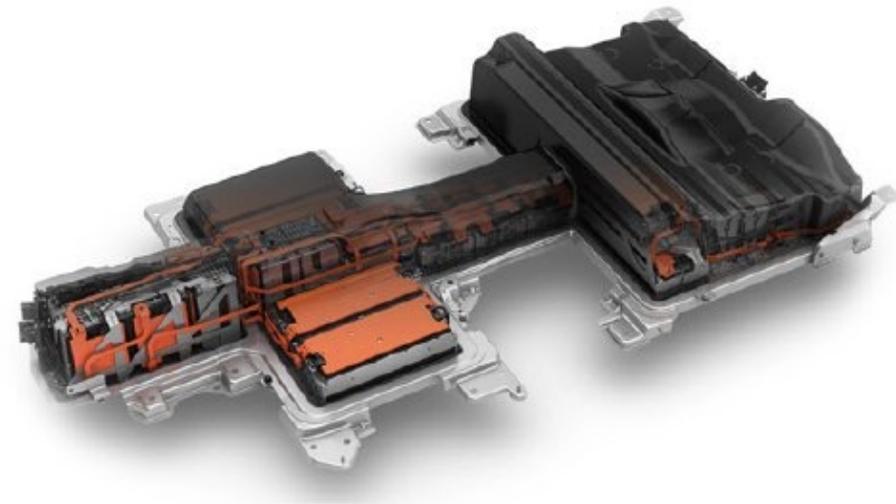


Tipica struttura di un pacco batteria in acciaio

Posizionamento del pacco batterie a bordo veicolo

Pacco batteria per la
piattaforma VW MQB

Isometric view

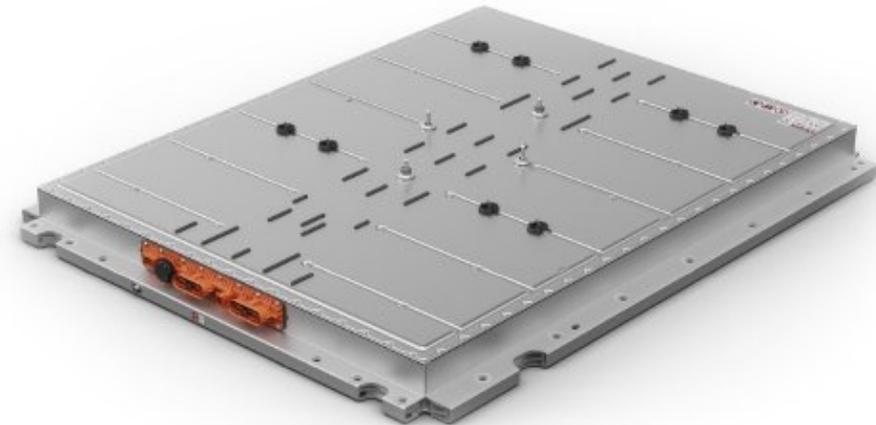
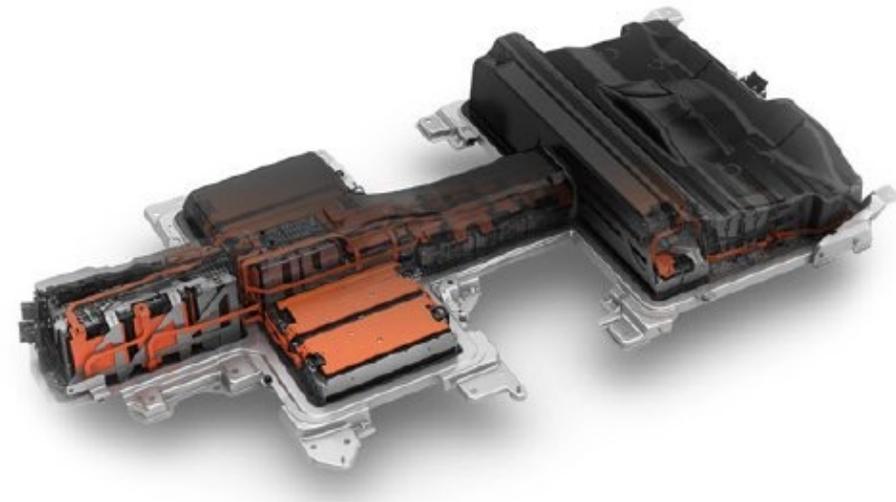


Soluzione iniziale di VW

Posizionamento del pacco batterie a bordo veicolo

Pacco batteria per la
piattaforma VW MQB

Pacco batteria per la
piattaforma VW MEB



Confronto fra soluzioni adottate da VW

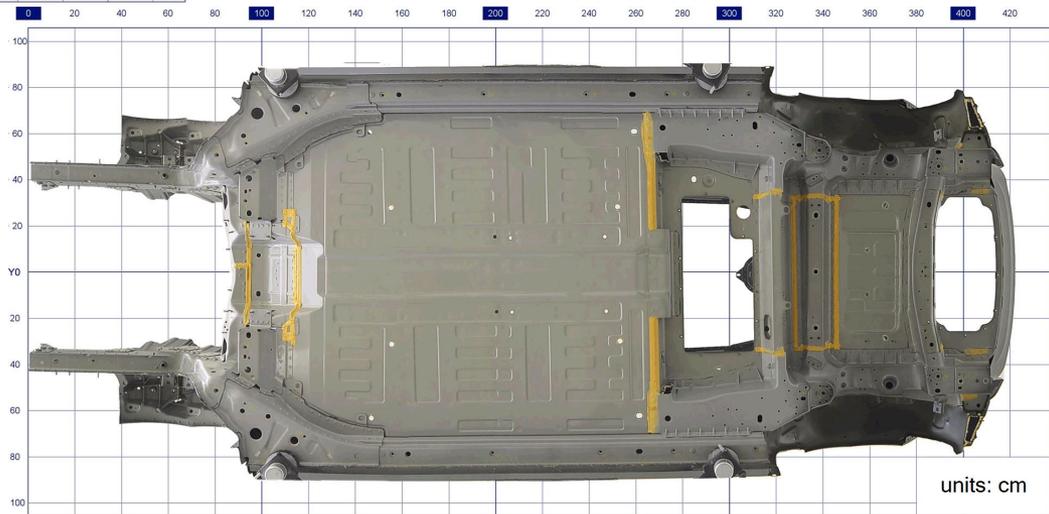
Sistema sottoscoocca - architettura

ICE



www.a2mac1.com

BEV



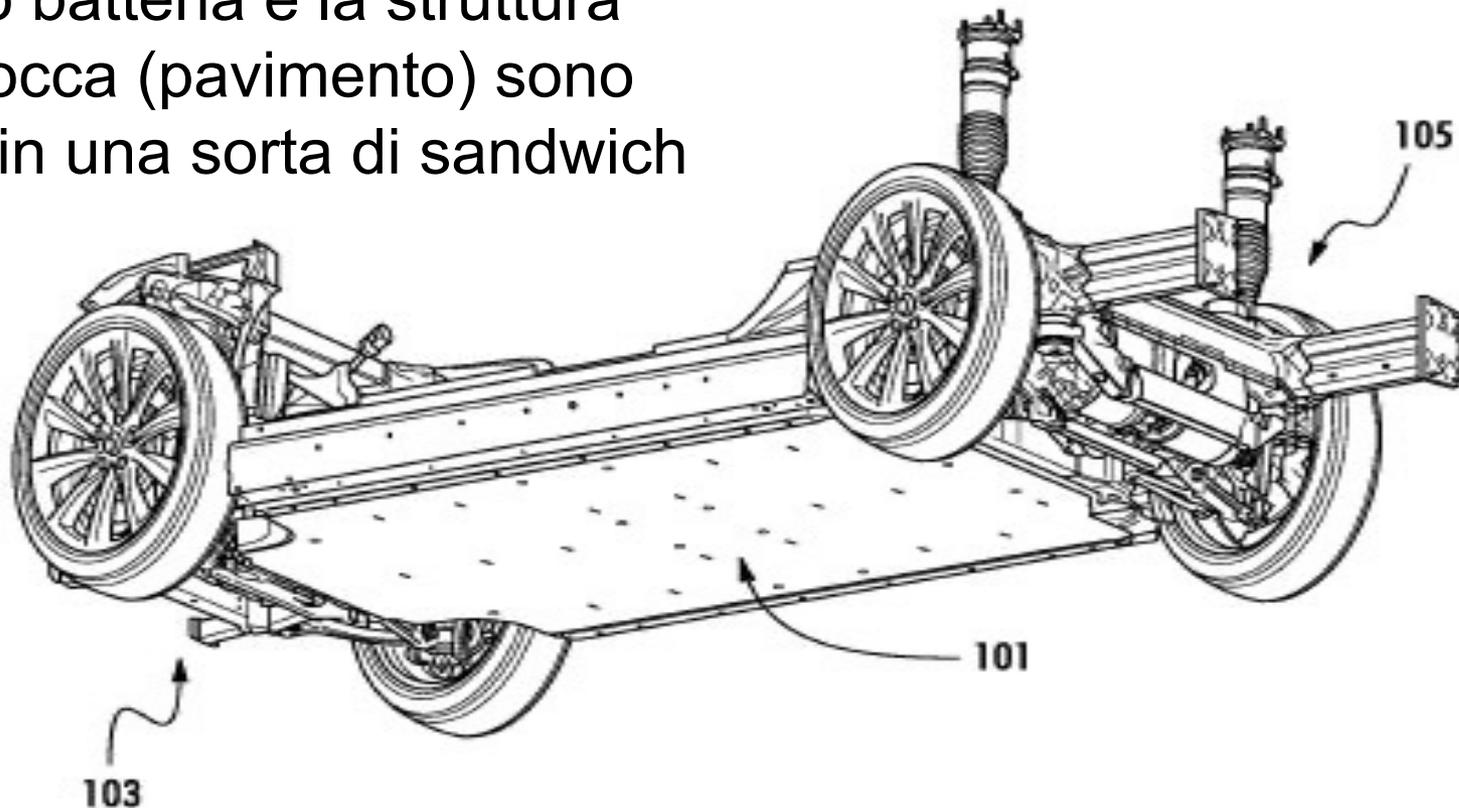
www.a2mac1.com

Molte sono le principali funzioni e i requisiti per la struttura sottoscocca (pavimento), le più importanti per l'analisi che stiamo facendo sono le due seguenti

- La **funzione strutturale**: la resistenza e la rigidità statica e dinamica sono di cruciale importanza per la guida del veicolo e per le prestazioni di confort (NVH);
- La **funzione sicurezza**: la struttura sottoscocca deve contribuire:
 - alla appropriata **protezione degli occupanti**, essendo una parte essenziale dell'abitacolo e, più in generale, contribuire a distribuire l'assorbimento di energia in caso di crash (sia frontale sia laterale),
 - nello specifico caso dei BEVs, ad una appropriata **protezione del pacco batteria** per evitare possibili rischi di incendio o esplosione di questi componenti.

Sistema sottoscocca - architettura

Il pacco batteria e la struttura sottoscocca (pavimento) sono **integrati** in una sorta di sandwich



La soluzione brevettata da Tesla per la integrazione del pacco batteria alla struttura sottoscocca

Sistema sottoscocca - architettura



(a) Hyundai E-GMP [33]



(b) Ford GE1 [75]

Esempi di strutture skateboard specifiche per BEV

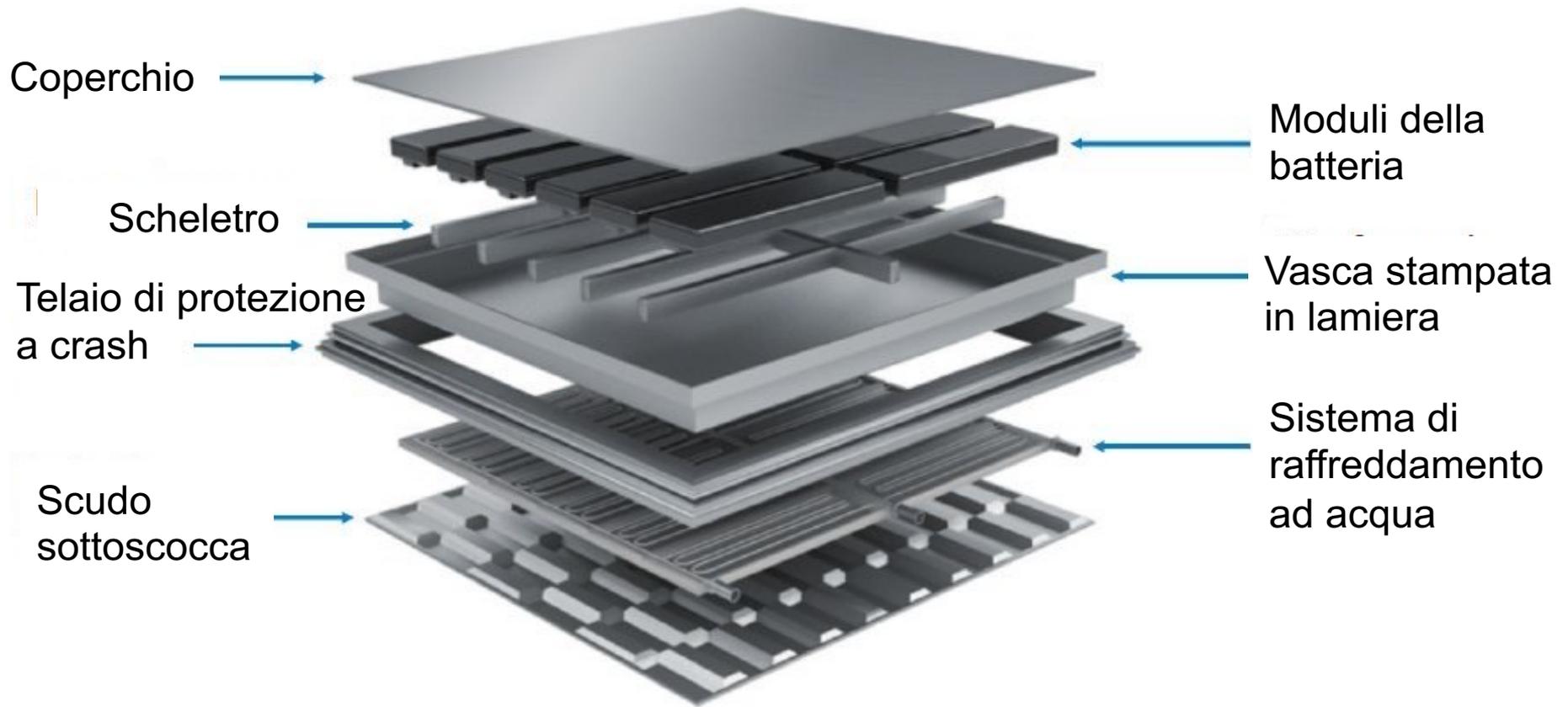
Struttura per il pacco Batteria

Dal punto di vista strutturale le principali funzioni e aspetti critici nella progettazione e costruzione di un pacco batteria sono:

- **Stabilità Strutturale,**
- **Posizionamento e collegamento,**
- **Rigidezza del pavimento abitacolo,**
- **Protezione in caso di Crash,**
- **Gestione temperatura del pacco batteria,**
- **Protezione dall'ambiente esterno (polvere, pietre, acqua, fango, sale,).**



Struttura per il pacco Batteria



Tipica struttura di un pacco batteria in acciaio

Prove Standard di crash laterale



*Crash laterale
contro barriera deformabile*



*Crash laterale
contro palo*



- Inquinamento e cambiamenti climatici
- Coppia e potenza negli autoveicoli – il ruolo della massa
- Evoluzione verso i veicoli elettrici sia Ibridi sia completamente elettrici
- La batteria come componente chiave
- Grande aumento delle dimensioni, peso e capacità del pacco batteria a bordo veicolo; fine vita e LCA
- Modifiche architettoniche introdotte nella scocca del veicolo per collocare il pacco batteria sotto il pavimento
- Il pacco batteria va protetto in caso di impatto frontale, laterale o da dietro; facilità di ricarica e di manutenzione

