



INGEGNERIA DEI TRASPORTI

Trasporti terrestri ed energia

Tecnologie, metodi ed applicazioni

Bruno DALLA CHIARA, Giovanni PEDE (curatori),
Maria Pia VALENTINI,
Nicola COVIELLO, Francesco DEFLORIO

ENEA

I nuovi scenari della mobilità elettrica

Roma 13 dicembre 2018



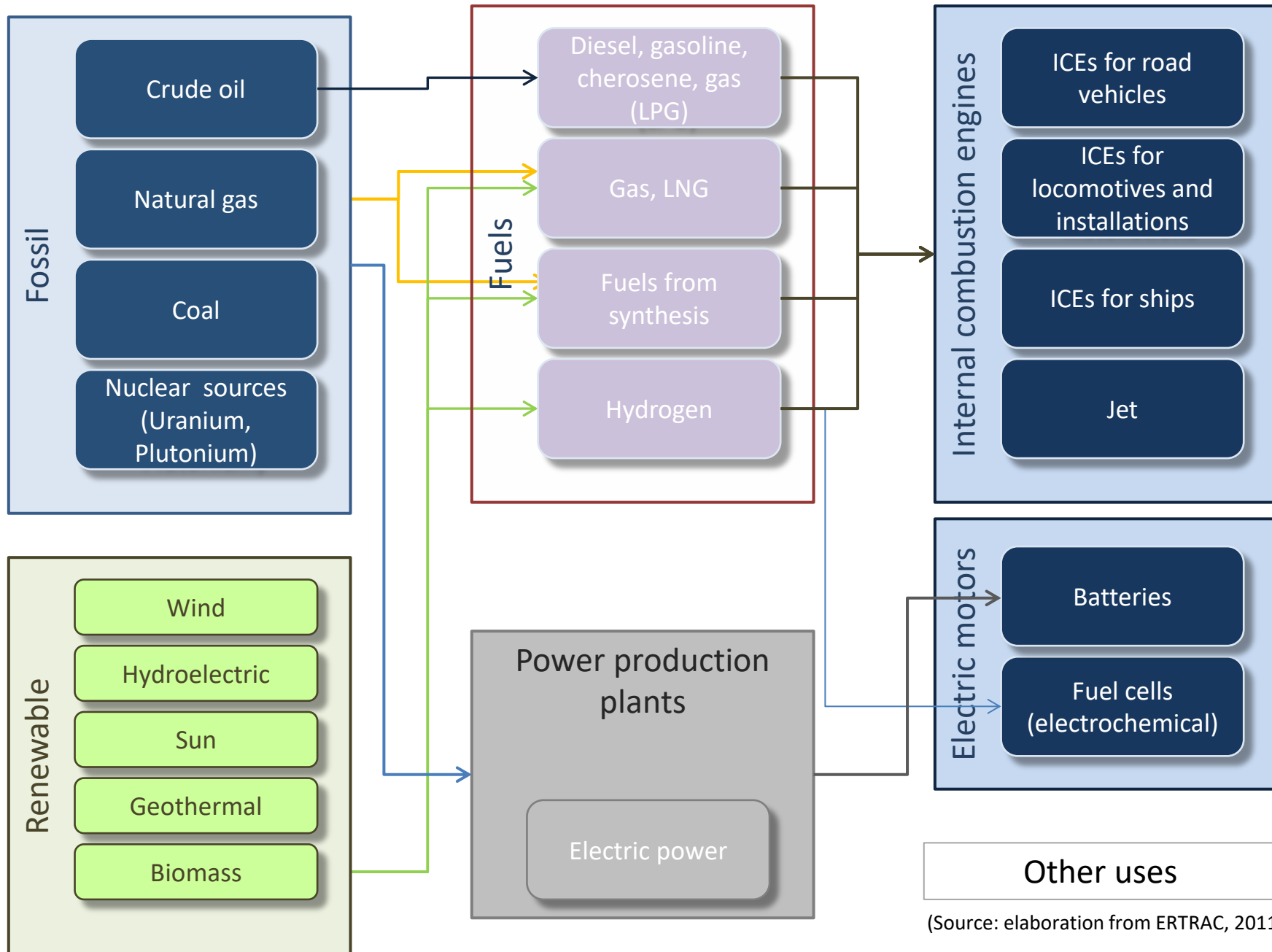
Qual'è l'impatto dei sistemi di trasporto sull'uso dell'energia ?

- Il campo dei trasporti, il cui ruolo è diventato essenziale nelle economie moderne, post-industriali, è l'unico settore basato quasi esclusivamente su di **un'unica fonte primaria, il petrolio**: **96%** in Europa (2011), appros. **94%** in 2016; **93-94%** in Nord America (2011) , **92% nel 2016**.
- Così non è **per gli altri settori**, basati su di un **mix di fonti eterogenee**, diverso nelle diverse situazioni nazionali in funzione della variabilità delle risorse disponibili nel territorio, dei diversi livelli di sviluppo economico ed in generale dalla diversità dei fattori sociali, economici e politici

Energia primaria

Vettori energetici

Uso nel sistema dei trasporti



(Source: elaboration from ERTRAC, 2011)

Nel **settore dei trasporti su strada**, la struttura del costo di produzione sta diventando dappertutto simile.

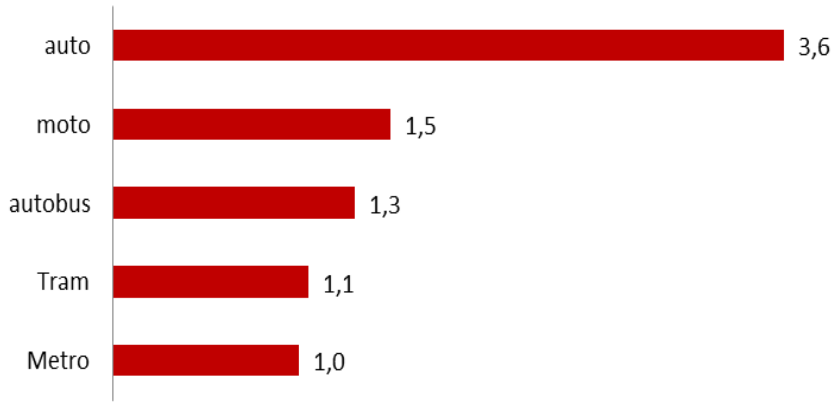
I due principali fattori della produzione (lavoro e carburanti) hanno ormai raggiunto livelli di costo paragonabili; ed in Europa il costo dei combustibili incide per una percentuale che va dal 24% al 38% del costo totale

[Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the State of the Union Road Transport Market, Brussels, 14.4.2014, COM(2014) 222 final]

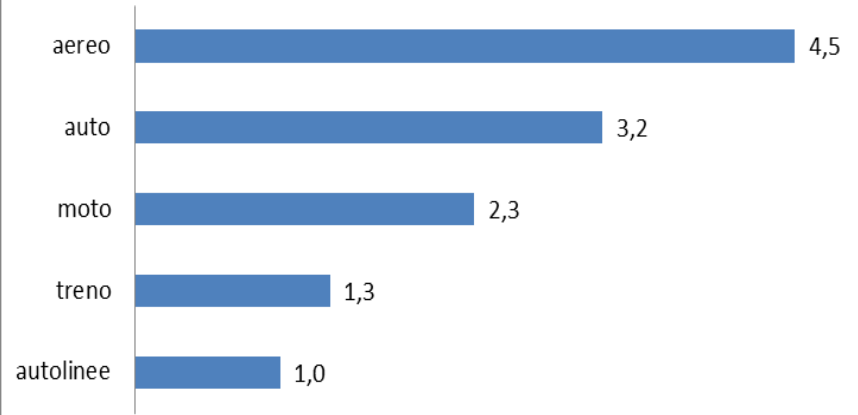
Passando al settore dei trasporti su rotaia (ferrovie, tranvie e metropolitane) le cose cambiano

- ➔ ~ **4-5%**, indicatively, for the **Italian railways**, on the overall running cost, according to some recent data [current unofficial data]
- ➔ ~ 11% for ATM in Milan, taken as an example, as energy cost on the 2009 budget, approximately 50% (**5.3%**) for rail systems and subway in the specific case [official data, 2009];
- ➔ ~**6%** as energy impact on the budget in case of the traction for the VAL **automated metro** in Turin, plus an equivalent value for other electric power supply means [indicative data, 2009].
- ➔ ~ **3.7%** for Ferrovie Nord, energy for traction

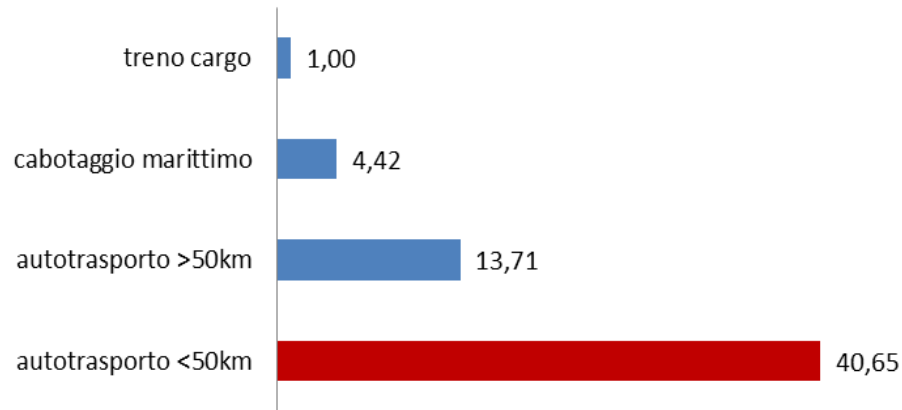
Rapporti fra i consumi unitari medi del trasporto passeggeri urbano



Rapporti fra i consumi unitari medi del trasporto passeggeri extraurbano

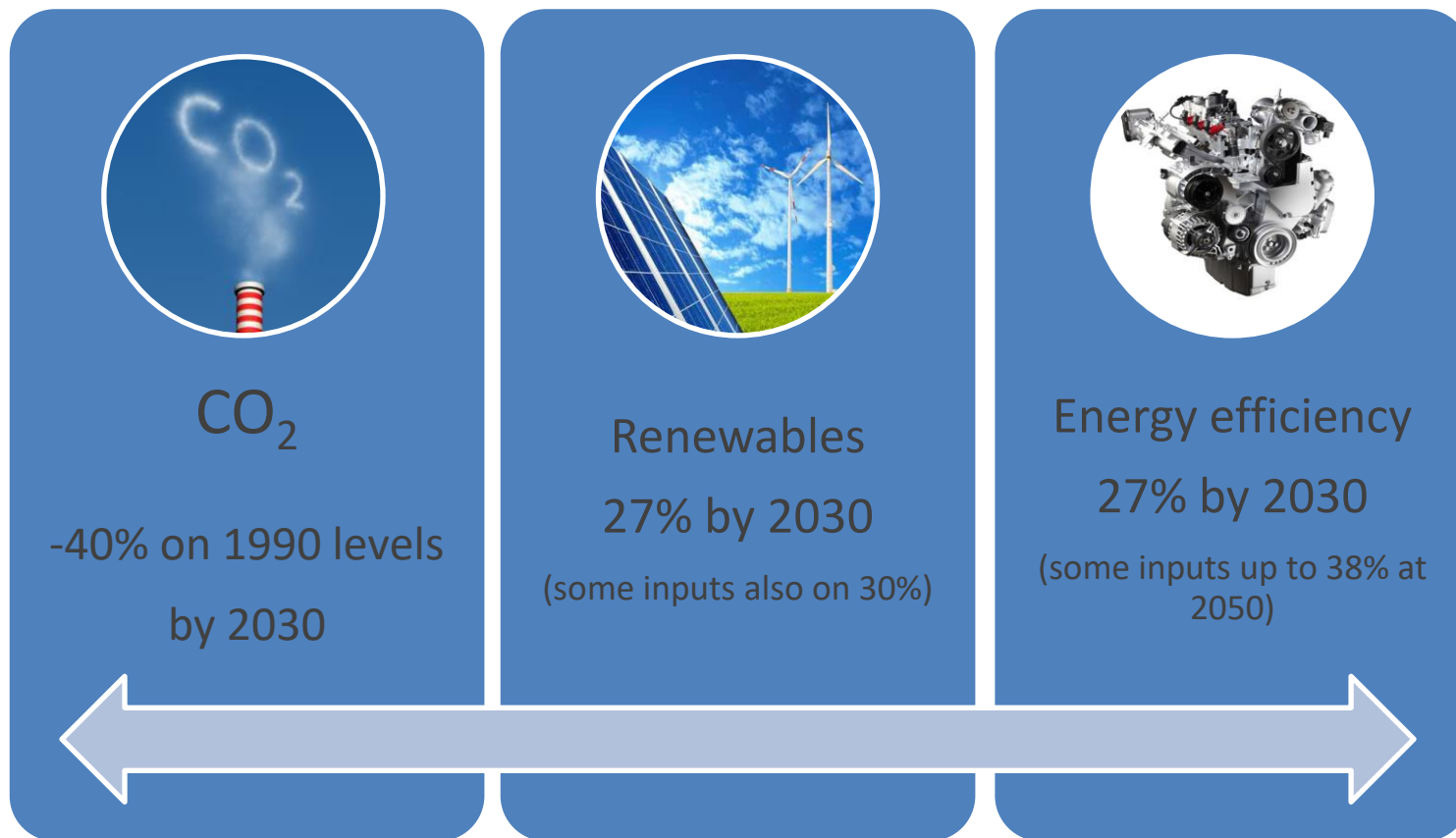


Rapporti fra i consumi unitari medi del trasporto merci



(mancano i sistemi «a fune», i più efficienti di tutti perché il power train è a terra)

Trasporti ed emissioni: i vincoli esterni



EU, 24.10.2014: constraining values at European level, indicative at national level; substitute previous target 20-20-20

The **Well to Tank (WTT)** evaluation accounts for the *energy expended and the associated GHG emitted in the steps required to deliver the finished fuel into the on-board tank of a vehicle.*

The **Tank to Wheels (TTW)** evaluation accounts for the *energy expended and the associated GHG emitted by the vehicle/fuel combinations.*

We refer to the **Well to Wheels (WTW)** integration, giving a global assessment of the energy required and the GHG emitted per km driven on the fuel/vehicle combinations considered.

$$WTW \left[\frac{MJ_t}{km} \right] = WTT \left[\frac{MJ_t}{MJ_f} \right] \cdot TTW \left[\frac{MJ_f}{km} \right]$$



Petrolio

560 (+40%)



85%

Raffinazione,
distribuzione

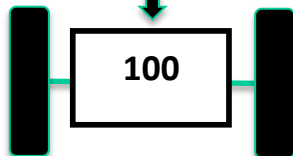
476

Benzina



21%
(indicativo, può andare dal 18% al 30%)

Motore a C.I.
Ciclo Otto



Rendimento totale della catena = 18%
(con un diesel il rendimento migliora, ibridizzando ancor di più)

Petrolio

400



Power plant

45%

180

Elettricità



Trasmissione
& distribuzione
(A.T. & M.T.)

94%

169



Distribuzione
in B.T & C.B.

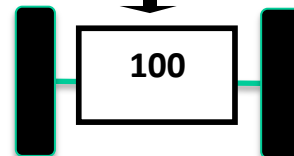
81%
(indicativo)

137

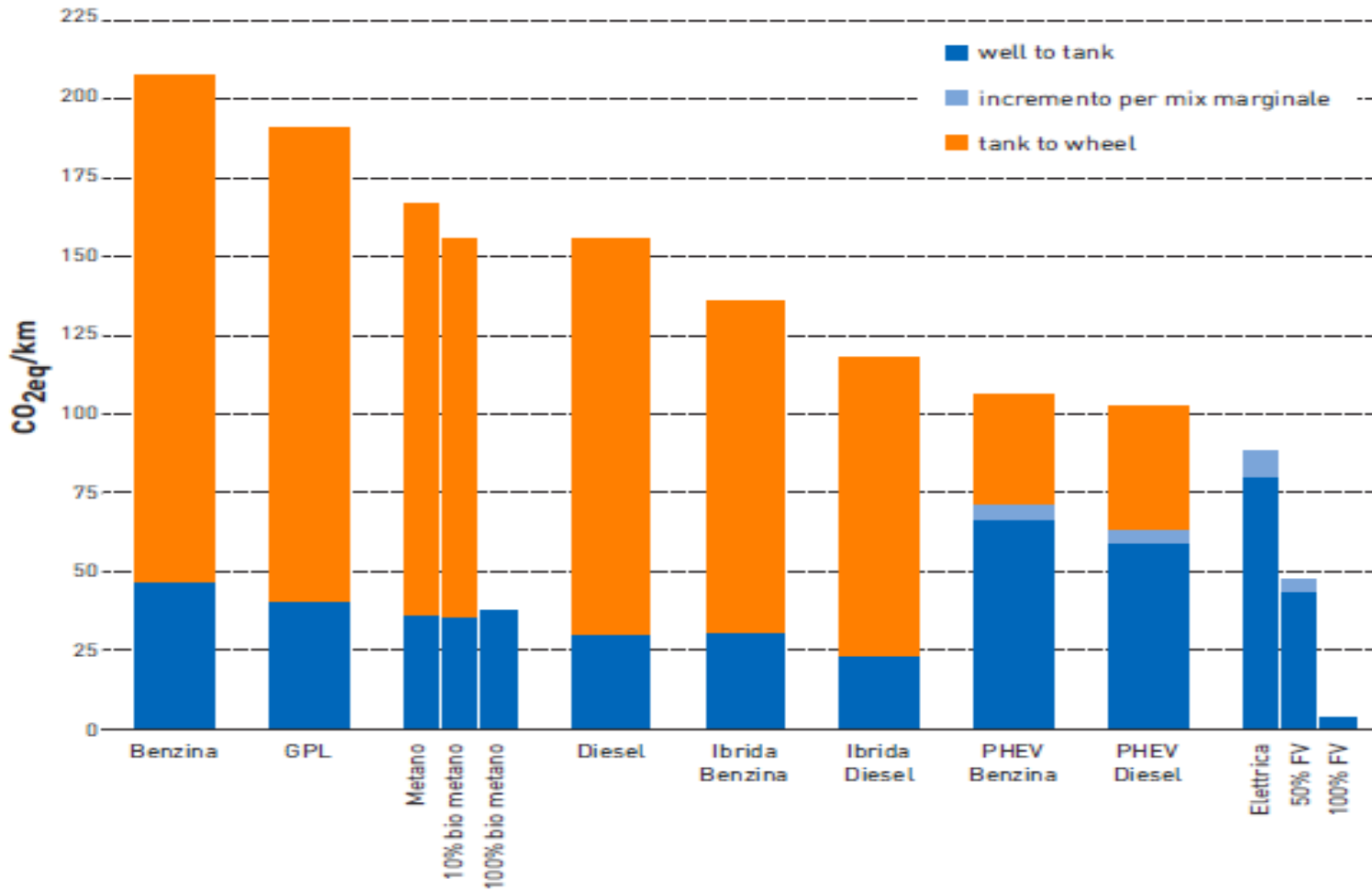


Batteria +
motore elet.

73%
(indicativo, anch'esso varia in funzione del ciclo)



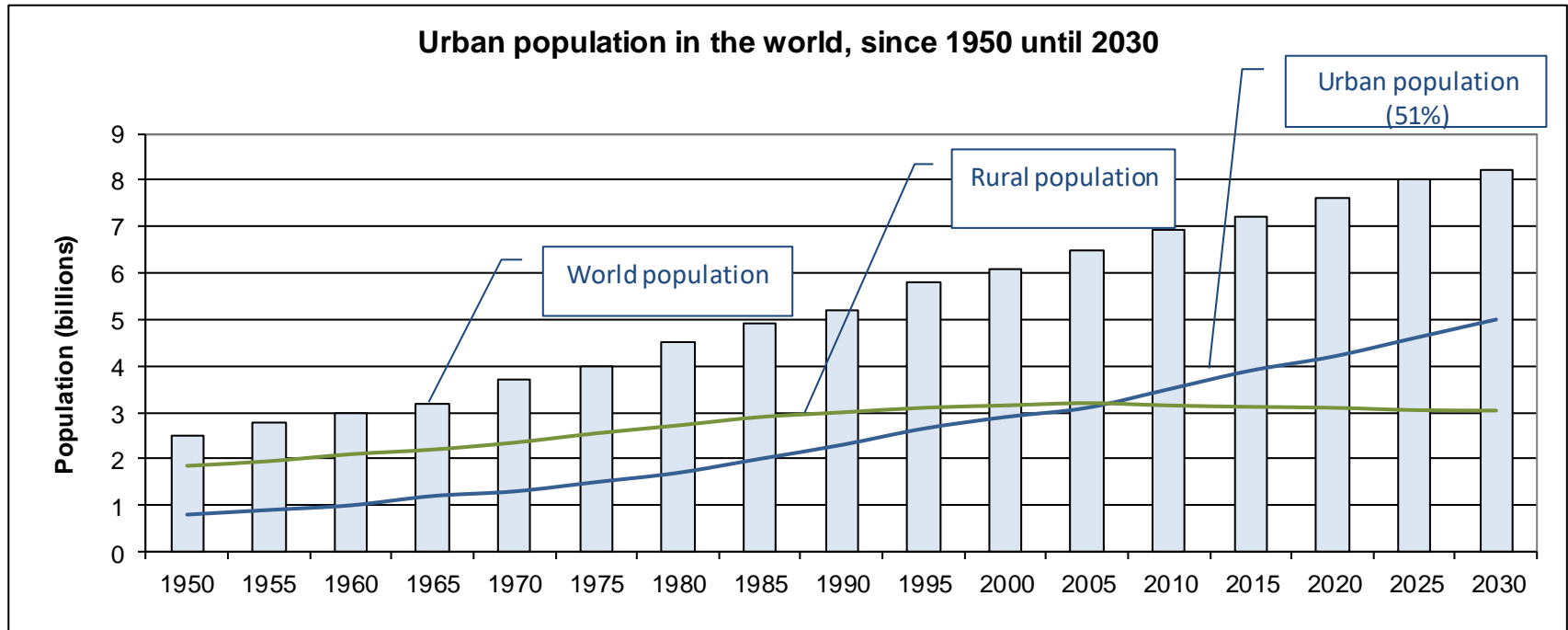
Rendimento totale della catena = 25%



Fonte: “Elementi per una roadmap della mobilità sostenibile – Maggio 2017 Prima edizione»

Il confronto è esposto a titolo indicativo, perchè varia nello spazio, nel tempo nell’applicazione veicolare

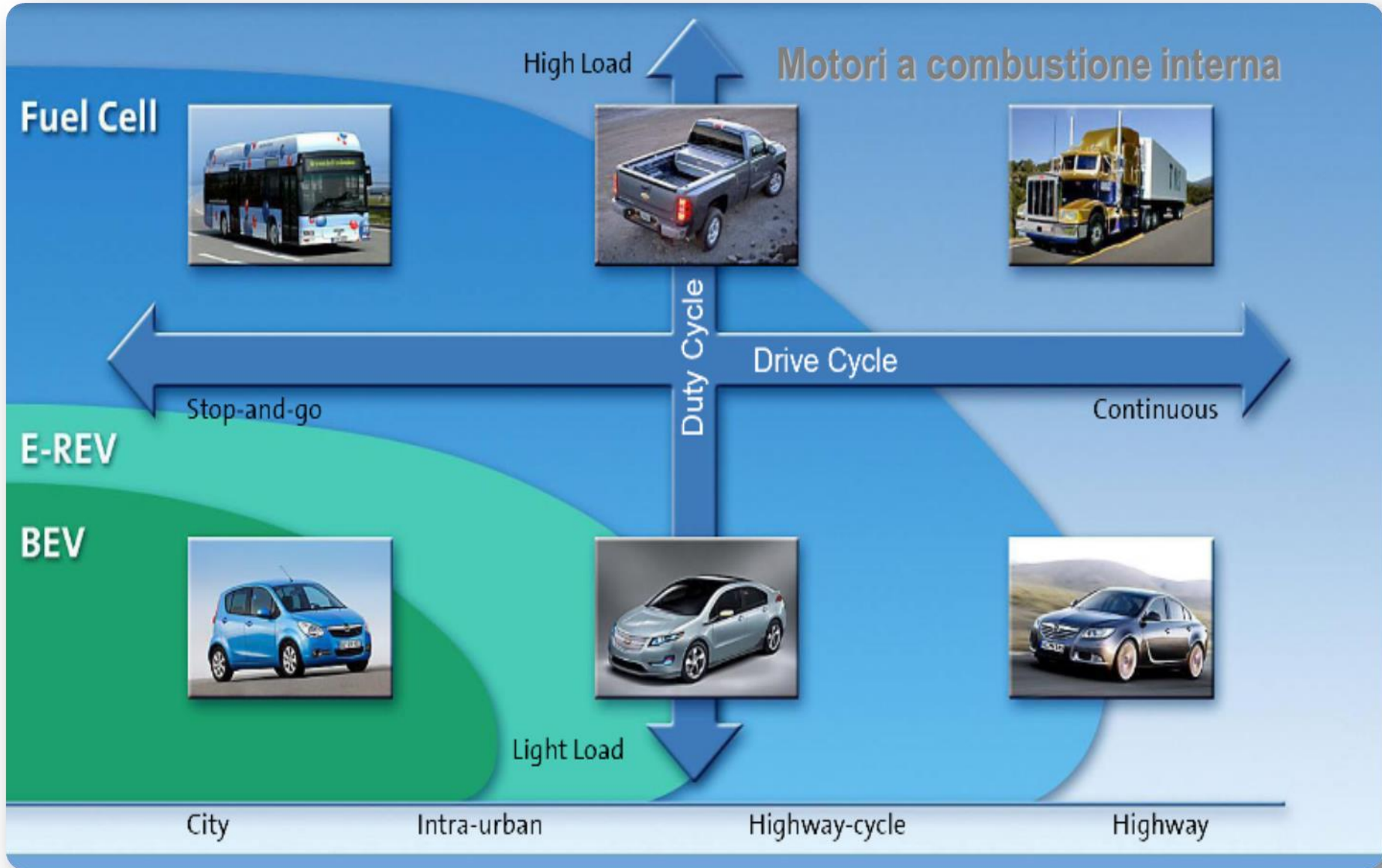
Le città, il campo d'elezione dell'elettrico



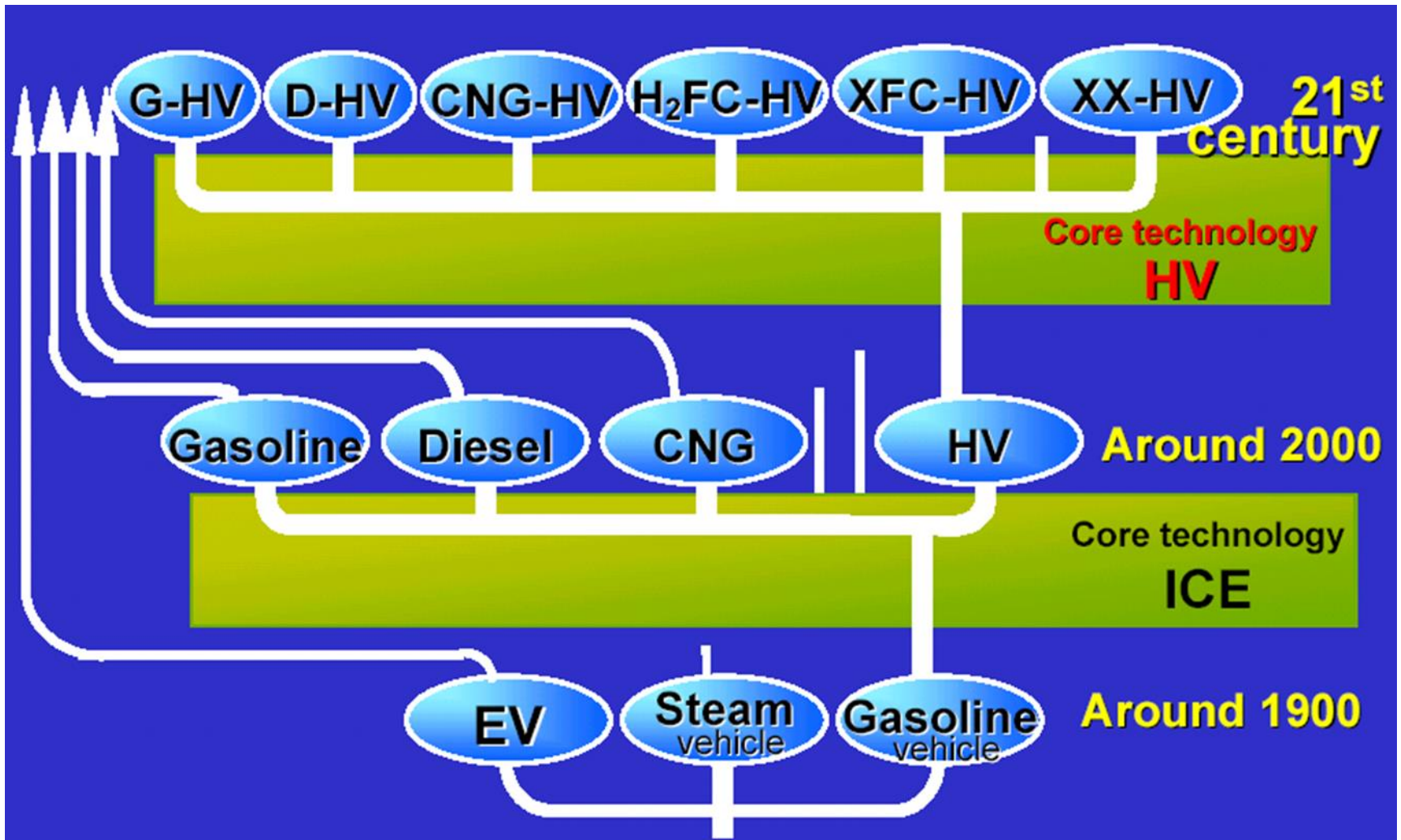
Autobus urbani 12 m	Diesel	CNG	HEV diesel	Elettrico	H2 (Fuel cell)
NOx totali g/km	1,1	1,4-4,5	3,51	0	0
PM 10 totali g/km	0,03	0,005-0,03	0,03	0	0
Rumore (mezzo in fermata) db	80	78	69	-	63

Fonte: TNO (2013), "Smart choices for cities: Clean buses for your city", European Project CIVITAS WIKI

C'è spazio per tutti (anche per l'idrogeno)!



L'ibrido ? Una tecnologia orizzontale



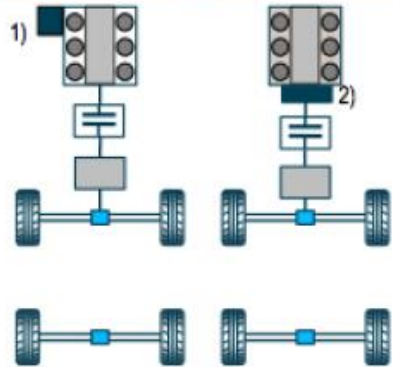
Ibrido, una parola, cento soluzioni

PURE ELECTRIC DRIVING POSSIBLE

Micro/mild hybrid

Belt-driven starter-generator

Integrated starter-generator

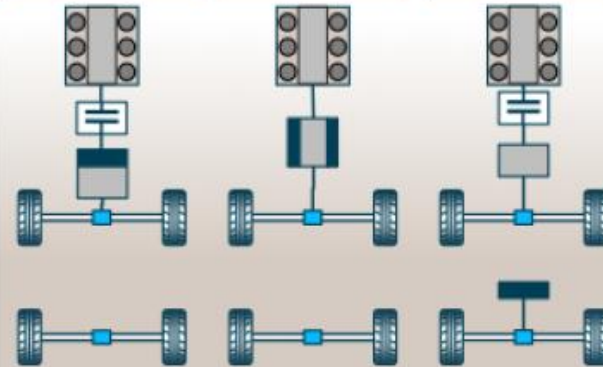


Full hybrid (PHEV option)

Parallel hybrid

Power-split hybrid

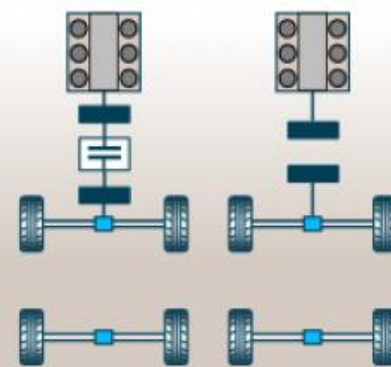
Second electric axle



PHEV

Serial hybrid (parallel option)

Serial hybrid (range extended)



EV

Battery electric vehicle



Fuel cell

Battery electric vehicle



Main applications (vehicle segments)



Mixed operation, incl. long distance

Upper medium class/premium class, large SUVs, sports cars, transporters/vans

Urban/rural

Mid-size cars, MPVs, small SUVs, light delivery trucks, sports cars

Urban

Mini & small cars, small vans, mini vans, fun cars

Urban

Mini & small cars, small vans, mini vans, fun cars

Engine
 Gears
 Clutch
 HV E-Machine
 1) Belt-driven starter-generator
 2) Integrated starter-generators

L'elettrico è spinto dallo sviluppo di azionamenti di gran lunga migliorati anche nelle piccole potenze

- ❑ Tesla Roadster (2008)
Motore induzione
225kW/370Nm
53 kWh Li-Ion, 365V



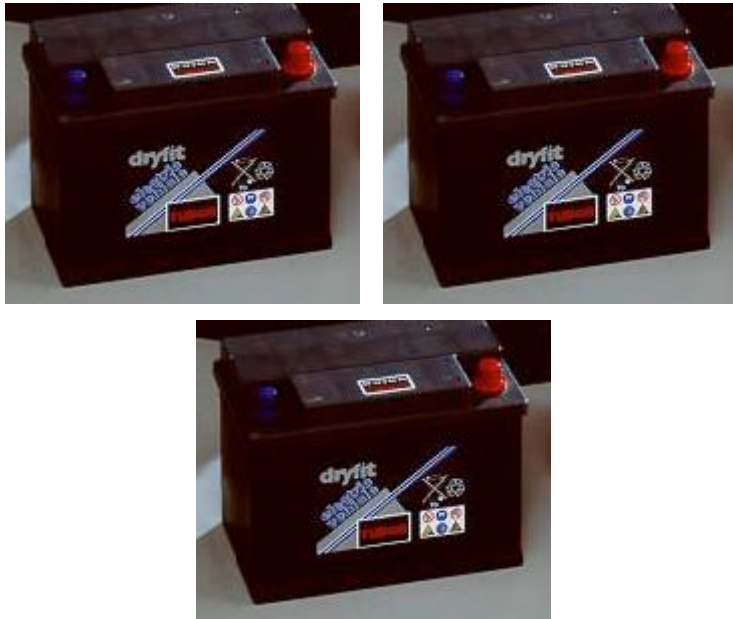
- ❑ Nissan Leaf (2010)
Motore sincrono MP
80kW/280Nm
24 kWh Li-Ion, 480V,

- ❑ Renault ZOE (2012)
Motore sincrono avv.
66kW/220Nm
22 kWh Li-Ion, 400V



..e , naturalmente, dal miglioramento delle prestazioni dell'accumulo elettrochimico (peso e volume)

PIOMBO -ACIDO



12 V / **50 Ah** / 20 kg : 30 Wh/kg

Li - Ione
(NMC)



14,8 V / **159Ah** / 17,5 kg : 134 Wh/kg

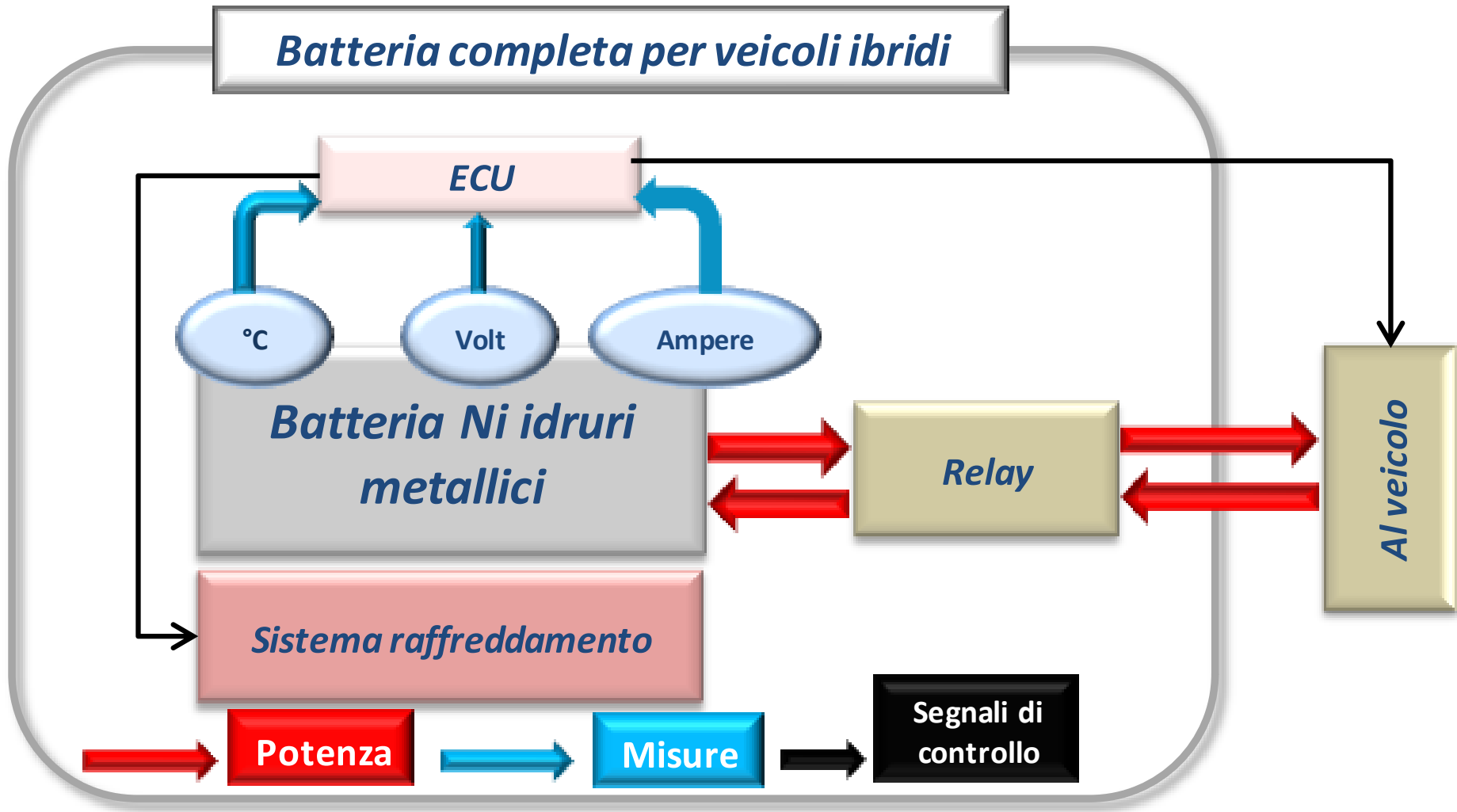
I valori indicati per l'energia specifica sono tra uno e due ordini di grandezza inferiori a quelli dei carburanti !

Sistemi batteria “integrati”: TESLA

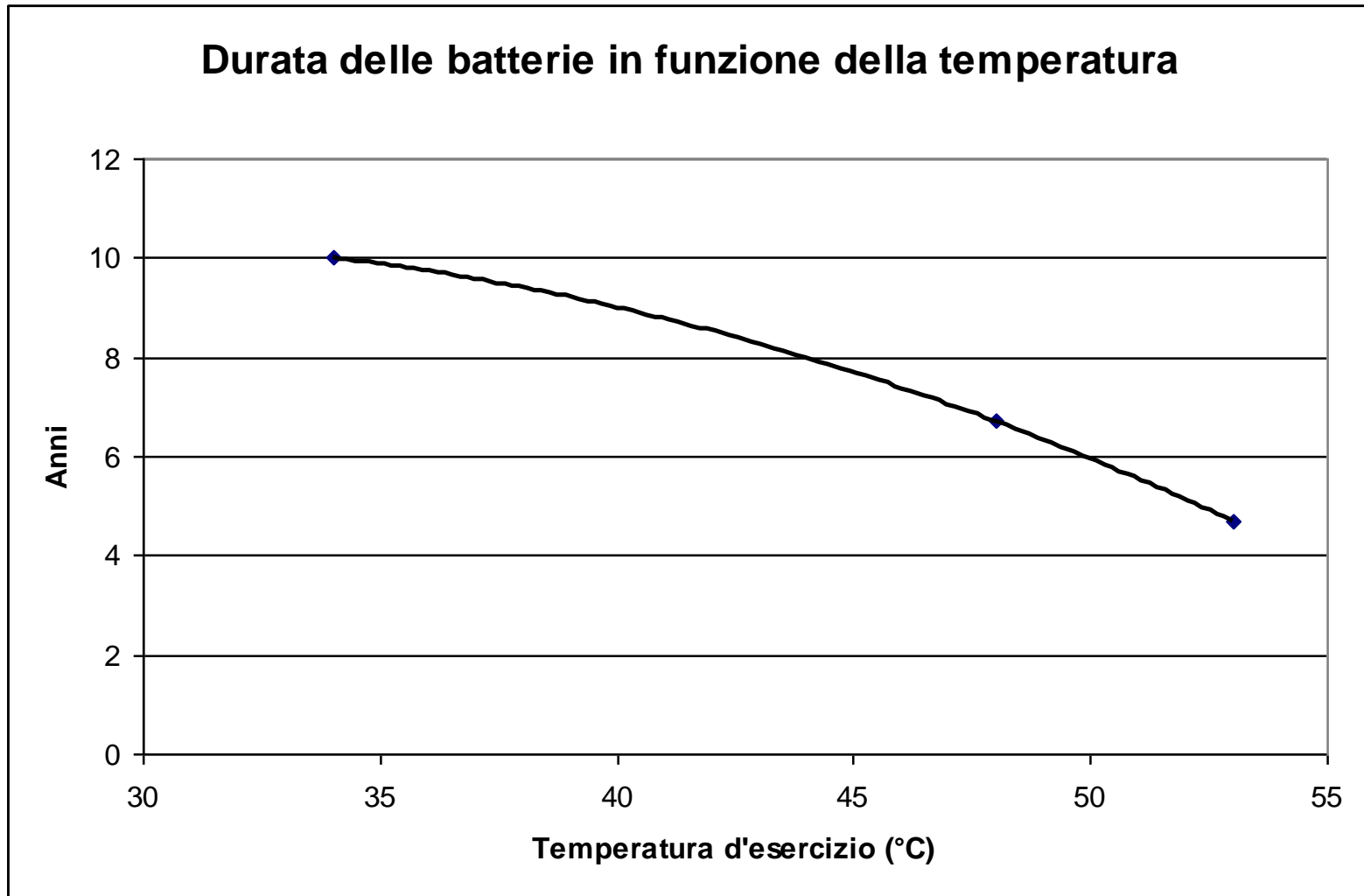


265 Wh/kg

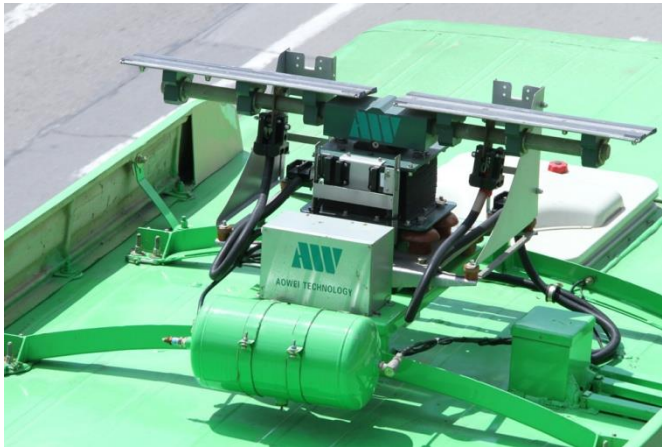
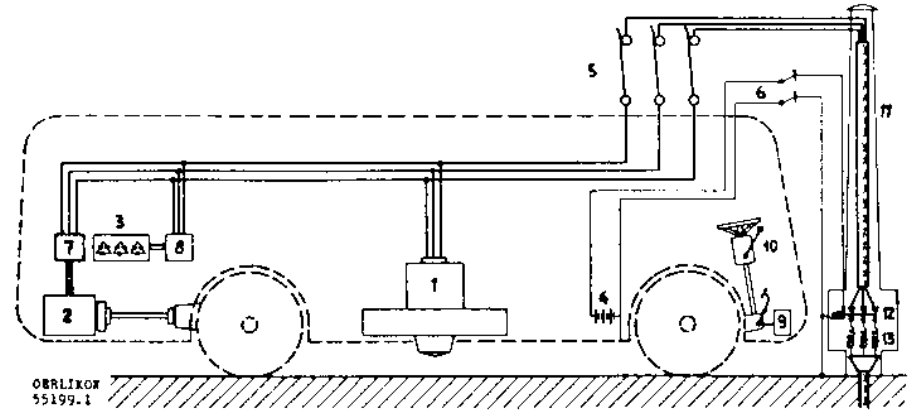
Sistema di accumulo completo.....



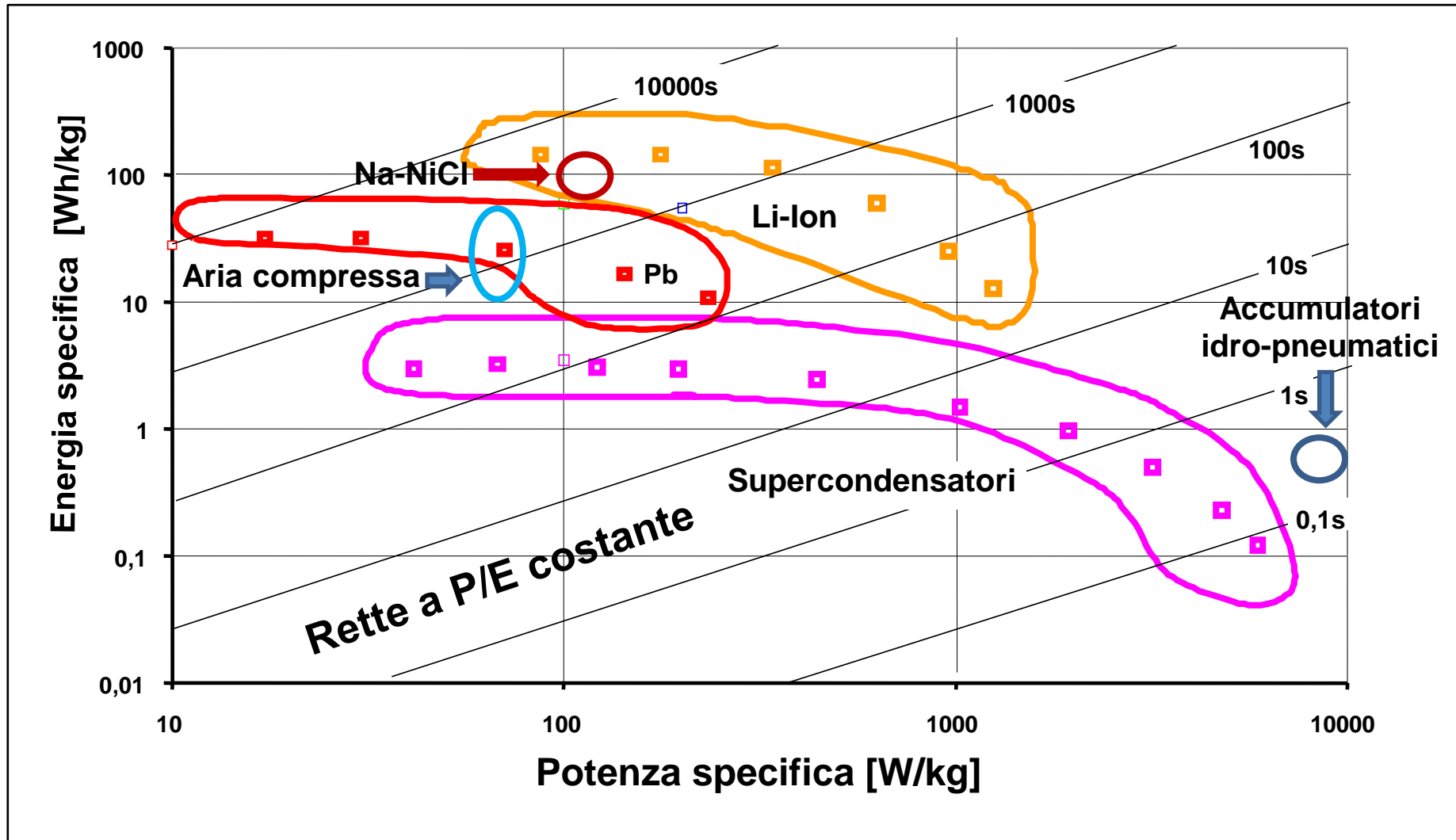
.....perchè una batteria moderna richiede più cure



Volani, aria compressa CAES) e supercondensatori

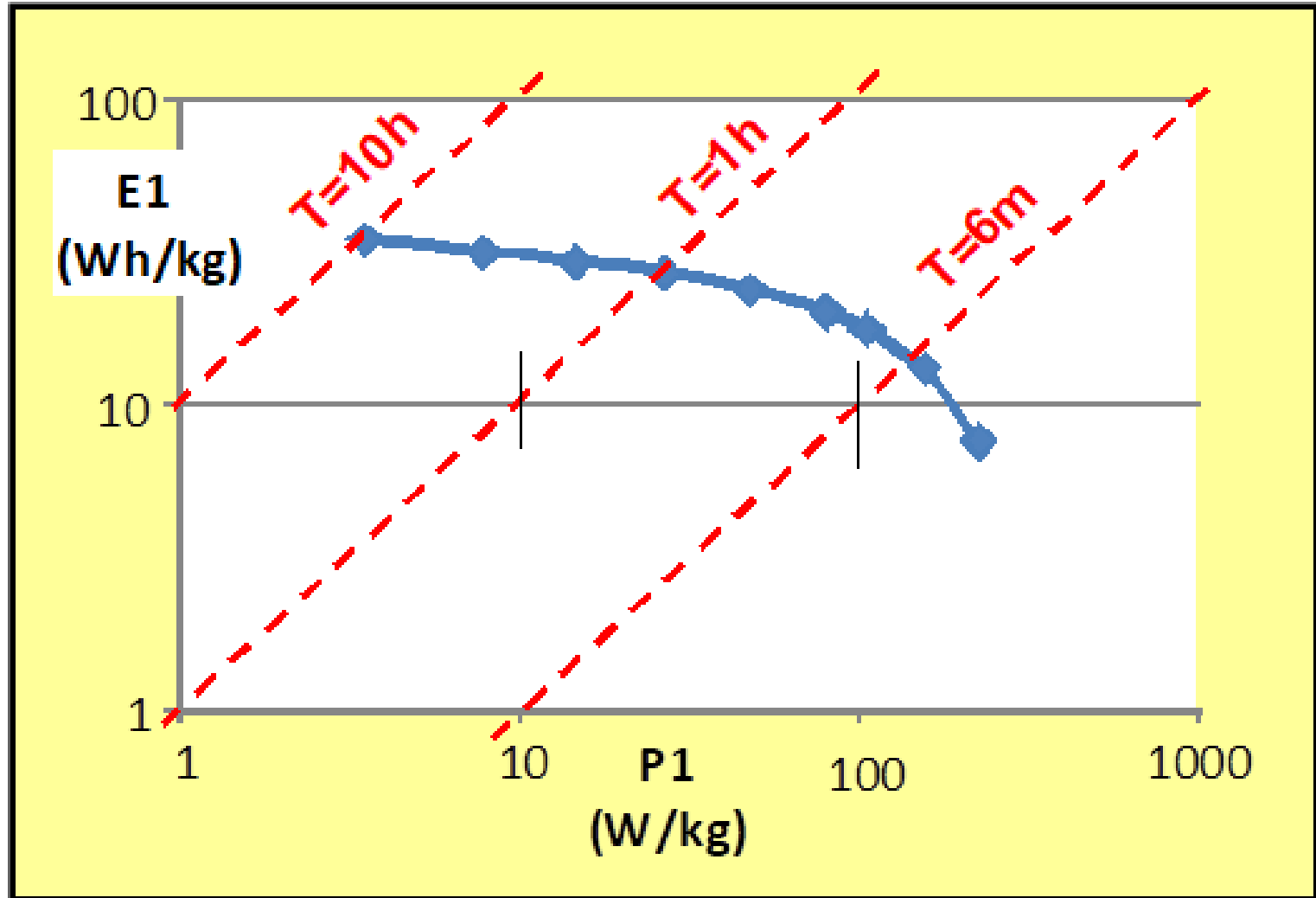


L'accumulo di energia a bordo macchina: in breve



(I valori indicati sono rappresentati con delle aree, perché le prestazioni delle batterie dipendono dalla durata delle scariche e dalla temperatura)

Scarica in condizioni nominali, al variare della temperatura le prestazioni prima aumentano e poi diminuiscono

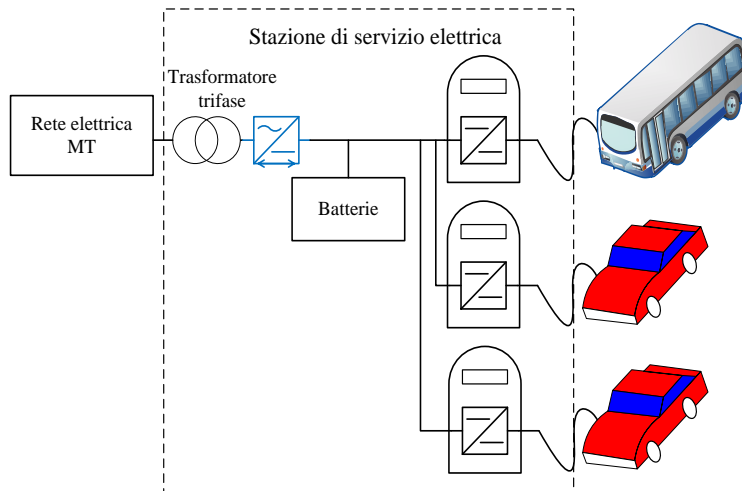


Dal veicolo al sistema

Una reale mobilità elettrica non può basarsi esclusivamente sul veicolo, ma deve integrare anche il resto della “catena del valore per la mobilità

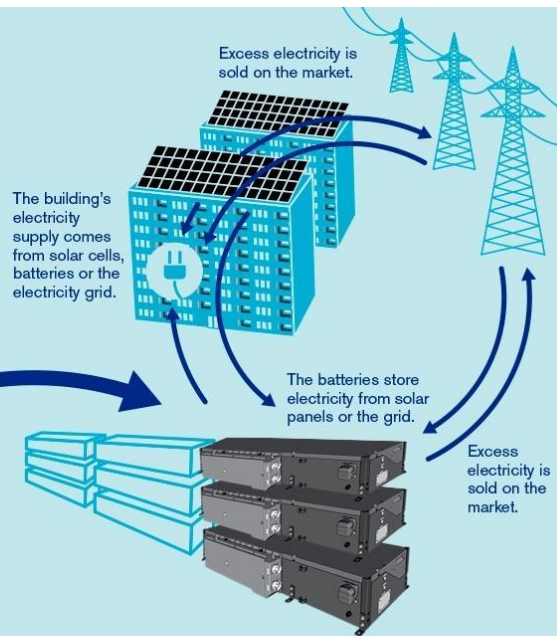


La diffusione infrastrutture di ricarica potrebbe richiedere un adeguamento del sistema di distribuzione



Se ne può ridurre l'impatto mediante l'integrazione di sistemi di accumulo distribuiti nella rete

BUS BATTERIES' SECOND LIFE



2 When a battery's useful life in a bus comes to an end, it is replaced. At this point, the battery has around 80 percent of its original capacity.

3 The 200 kWh energystorage facility consists of lithium ion batteries. It is used to smooth out the building's power peaks and to store or sell excess solar electricity generated on site. It can also be used to purchase and store electricity from the grid when it is cheap and green, for later use.



4 When the battery can no longer be used in the building, it is recycled and new batteries are made from the materials.

1 Electric bus in operation in the city.



E questo vale anche per la fase di produzione delle batterie, i cui costi sono ulteriormente riducibili in un'economia circolare

SOMMARIO

- **A** TRASPORTI, ENERGIA E AMBIENTE
- **B** RICHIAMI DI MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE AI FINI ENERGETICI
- **C** LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI NEI VEICOLI
- **D** ENERGIA ED ELETTRIFICAZIONE DEI TRASPORTI STRADALI
- **E** LE MODALITÀ DI RICARICA
- **F** I SISTEMI DI TRAZIONE IBRIDI
- **G** IL CONSUMO ENERGETICO NEI SISTEMI DI TRASPORTO A IMPIANTO FISSO: TRASPORTO FERROVIARIO E APM
- **H** I COMBUSTIBILI, TRADIZIONALI E INNOVATIVI
- **I** CONFRONTO DI EFFICACIA ENERGETICO-AMBIENTALE DELLE PRINCIPALI OPZIONI TECNOLOGICHE
- **L** STRATEGIE D'INTERVENTO
- **M** CONCLUSIONI



TRASPORTI, ENERGIA E AMBIENTE

A

- A1** Questione energetica e cambiamenti climatici
- A2** Il peso dei trasporti
- A3** Il ruolo dello sviluppo tecnologico
- A4** Efficienza energetica nei trasporti: concetti generali

RICHIAMI DI MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE AI FINI ENERGETICI

B

- B1** L'equilibrio di un veicolo terrestre
- B2** Il fenomeno dell'aderenza
- B3** Le resistenze al moto
- B4** Le fasi del moto
- B5** Diagrammi del moto semplificati
- B6** Applicazioni numeriche

C

LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI NEI VEICOLI

- C1** Riduzione delle resistenze al moto
- C2** Processi di conversione dell'energia a bordo mezzo, le motorizzazioni tradizionali
- C3** Applicazioni numeriche

ENERGIA ED ELETTTRIFICAZIONE DEI TRASPORTI STRADALI

D

- D1** I veicoli elettrici “puri” o a batteria
- D2** Le batterie, concetti di carattere generale
- D3** I supercondensatori
- D4** I volani
- D5** Costi e prestazioni dei sistemi d'accumulo elettrico
- D6** Azionamenti elettrici
- D7** I veicoli elettrici con celle a combustibile
- D8** Applicazioni numeriche

LE MODALITÀ DI RICARICA

E

E1 Le infrastrutture di ricarica e la ricarica rapida

E2 Interconnessione terra-bordo

I SISTEMI DI TRAZIONE IBRIDI

F

- F1** Modalità di funzionamento e classificazione
- F2** Risparmio energetico e ibridi
- F3** Dimensionamento dei sistemi di trazione ibridi
- F4** La scelta della tipologia del sistema di accumulo elettrico
- F5** Applicazioni numeriche

IL CONSUMO ENERGETICO NEI SISTEMI DI TRASPORTO A IMPIANTO FISSO: TRASPORTO FERROVIARIO E APM

G

- G1** Premessa
- G2** Sistemi per la trazione elettrica
- G3** Frenatura elettrica
- G4** Fattori influenti sui consumi energetici in ambito ferroviario
- G5** Rassegna di valori da letteratura
- G6** Automated people mover (APM) con trazione a fune
- G7** Applicazioni numeriche

I COMBUSTIBILI, TRADIZIONALI E INNOVATIVI

H

- H1** I combustibili tradizionali
- H2** I combustibili alternativi di origine fossile
- H3** I biocarburanti

CONFRONTO DI EFFICACIA ENERGETICO-AMBIENTALE DELLE PRINCIPALI OPZIONI TECNOLOGICHE

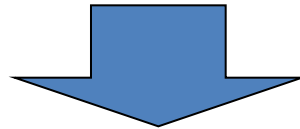
- I1** Il life cycle assessment (LCA) in campo automobilistico
- I2** Applicazione numerica
- I3** Risultati e conclusioni dello studio del JRC
- I4** Risultati e conclusioni dello studio del MIT per il caso statunitense

STRATEGIE D'INTERVENTO

- L1** Framework
- L2** Il punto di vista dell'Europa
- L3** Le indicazioni dell'IEA
- L4** Trasporti ed energia in Italia

Conclusioni

- ❑ **Perseguire un miglior uso dei sistemi di trasporto con le relative infrastrutture in termini di qualità, sicurezza, ed efficienza – dei power train e del sistema nel suo complesso – anche con l'uso di “ITS”**
- ❑ **Veicoli a motore “verdi” e connessi, guida assistita e possibilmente autonoma**



Efficienza energetica e maggiore indipendenza dal petrolio