

EXpert PAnel for Polluting Emissions Reduction EXPAPER

**La convenienza del phase-out al 2035 dei motori a c.i.
in termini di riduzione di emissione di CO₂:
il caso Italia**

Francesca M. Grimaldi - Pietro Capaldi

CNR-STEMS

Consiglio Nazionale delle Ricerche



NAPOLI 24-25 NOVEMBRE 2022

Premessa introduttiva

I vantaggi energetici e ambientali derivanti dalla trazione elettrica in ambito automotive sono assai evidenti e dovuti a:

- Emissioni nulle allo scarico, sia di CO₂ che di altri inquinanti;
- Efficienza energetica globale ed emissiva di gran lunga superiore a quella di qualsiasi m.c.i., sia esso alimentato mediante combustibile fossile che rinnovabile;

Ciò nonostante, al fine di valutare l'effettivo vantaggio, è necessario considerare l'insieme delle emissioni complessivamente prodotte dal veicolo elettrico rispetto all'intero ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) ovvero, a partire dalla produzione del veicolo nel territorio di riferimento fino alla sua dismissione; inoltre tale valutazione deve essere effettuata rispetto a un chilometraggio statisticamente credibile.

Tale approccio, per quanto inizialmente non adottato dalla Commissione Europea, è stato richiesto a gran voce da una considerevole parte del mondo industriale di svariati Paesi e dovrebbe essere oggetto di verifica anche a fronte del mutato quadro politico italiano.

La metodologia di analisi - 1

Sono stati valutati i seguenti parametri:

- 1) **La carbon intensity** dell'energia elettrica prodotta sul territorio nazionale e necessaria a sostenere sia l'intero ciclo produttivo del veicolo che l'alimentazione dello stesso. Ne è stato dapprima determinato il valore al 2020, quindi sono state fatte proiezioni della stessa al 2035 in base a due differenti scenari. Questi ultimi prevedono rispettivamente:
 - **un tasso di crescita consolidato (valore medio dal 2016 al 2021) di nuova installazione di impianti rinnovabili** (scenario Business As Usual);
 - **un tasso di crescita come quello previsto dal pacchetto "Fit for 55"** per il 2030 (molto più elevato). In quest'ultimo caso, il valore della capacità installata è stato opportunamente estrapolato fino al 2035.
- 2) **L'emissione specifica di CO₂ derivante dalla produzione delle batterie nel caso in cui le stesse fossero prodotte sul nostro territorio.** A tal fine, è stato effettuato un confronto critico tra cinque dei più recenti e rilevanti LCA disponibili in letteratura al fine di determinarne un valore specifico di riferimento (in termini di kg CO₂/kWh di batteria) relativo alla C.I. italiana.

Consiglio Nazionale delle Ricerche

La metodologia di analisi - 2

- 3) Sono state **valutate le emissioni specifiche (gCO_2/km) di vetture appartenenti a quattro diversi segmenti** (rispettivamente, A, B, C e M, rappresentanti circa l'85% del parco circolante italiano) **con tre differenti powertrain** (rispettivamente, mild hybrid, full hybrid e full electric), avendo considerato i **consumi statistici effettivi** (quindi no dati di omologazione) delle vetture prese in esame.
- 4) E' stato poi effettuato il confronto in termini di emissione di CO_2 per ciascun segmento di vetture dei tre powertrain presi in esame alla luce dei tre scenari energetici considerati. E' stato infine considerato un quarto scenario che prevedesse l'introduzione di un combustibile LCF (benzina semisintetica) a ridotta emissione di carbonio ($1700 \text{ gCO}_2/\text{dm}^3$ vs. $2800 \text{ gCO}_2/\text{dm}^3$ in termini di WTT) ottenuto da un mix di combustibile fossile con e-fuels e biofuels (ovvero parzialmente derivato da fonti rinnovabili).

La carbon intensity italiana al 2020

La carbon intensity dipende dal mix di produzione vigente, il quale tiene conto de:

- **Il combustibile primario utilizzato e il ciclo termodinamico consentito dal combustibile stesso.** Nel futuro dovrà essere considerata anche la eventuale presenza di sistemi di cattura e storage della CO₂ (CCS, CCUS);
- Il contributo delle energie rinnovabili, la cui incidenza complessiva varia a seconda della stagione e delle condizioni metereologiche.
- Il flusso di energia acquistata attraverso l'interscambio

Si considera soltanto la C.I. relativa alla produzione elettrica (pari a circa **320** TWh @ 2020 e 2021). Tale valore NON deve essere confuso con il fabbisogno energetico nazionale, che risulta essere, al netto delle perdite di trasformazione, oltre 4 volte superiore, ed in particolare pari a circa 1450 TWh (2020-2021)

La situazione attuale (2020) ed uno scenario futuro (2035)

Situazione attuale (2020): L'attuale mix energetico prevede l'impiego di un massiccio utilizzo di gas naturale (50% circa) ed una significativa percentuale di rinnovabili (42,0%), pertanto è stato possibile determinare un valore di carbon intensity abbastanza accurato e confermato dalla media dei valori reperiti in letteratura (circa 360 gCO₂/kWh).

1° scenario al 2035: attraverso il dato di espansione delle FER tra il 2016 ed il 2021 è stato possibile anche delineare un trend di diffusione consolidato (circa 0,85 GW/anno). Questo è stato utilizzato per definire un traguardo al 2035 del tipo «Business as Usual», che rappresenta il valore minimo di introduzione FER e del conseguente livello di decarbonizzazione.

Quest'ultimo scenario riflette una condizione assai limitante e discende da un elevato numero di problematiche tipiche del nostro Paese, quali procedure farraginose, sindrome di NIMBY, rete inadeguata, etc.)

Consiglio Nazionale delle Ricerche

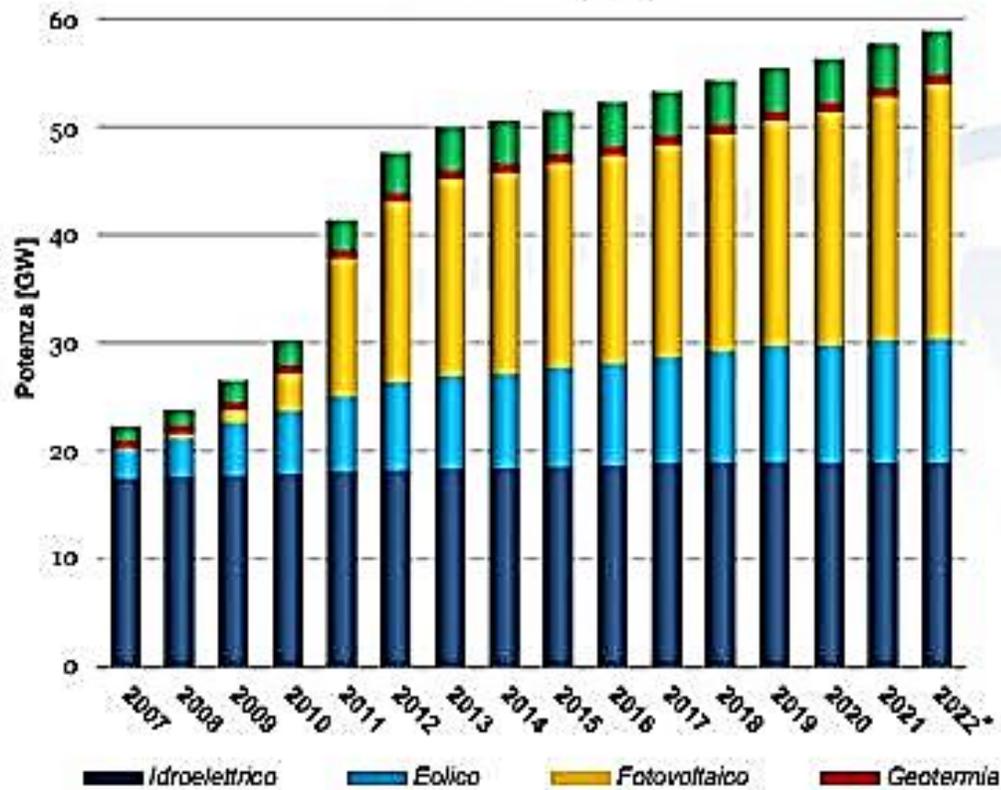


NAPOLI 24-25 NOVEMBRE 2022

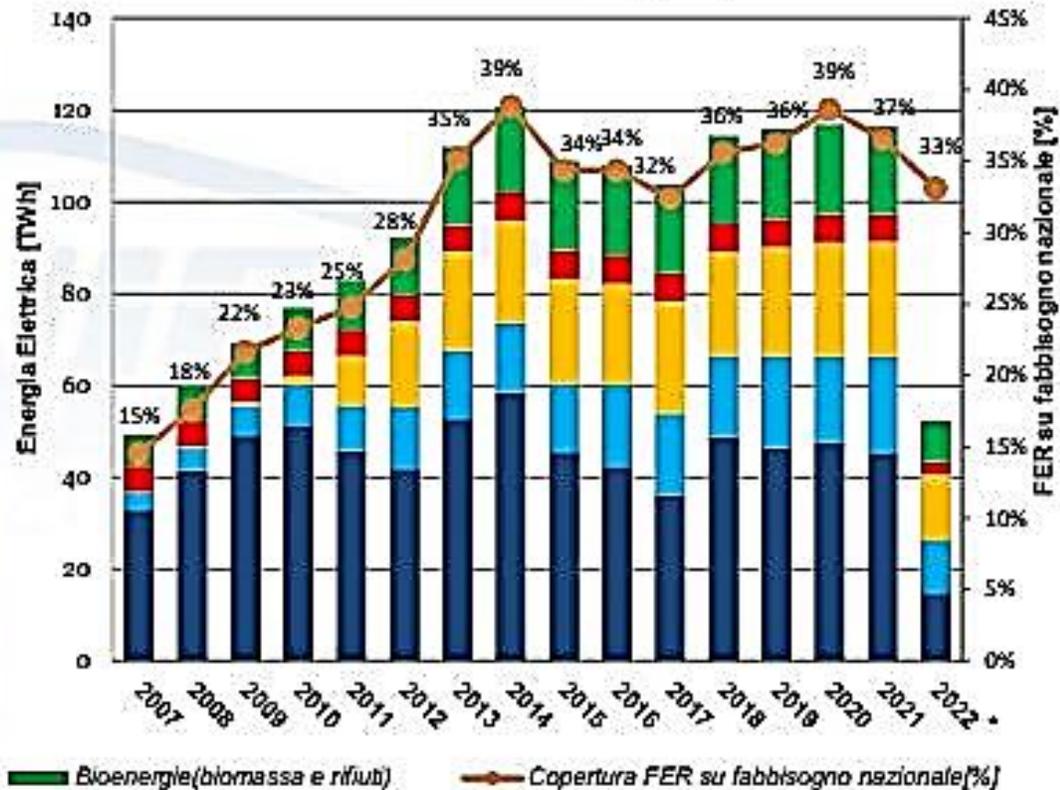
La situazione attuale (2022) per le rinnovabili

POTENZA E PRODUZIONE FER IN ITALIA

Potenza FER [GW]



Produzione da FER [TWh]



- Nel periodo gennaio-giugno 2022 il 33% del fabbisogno elettrico nazionale (158.017 GWh) è dato da FER (52.306 GWh)
- Produzione gennaio-giugno 2022: Idroelettrico 28% Eolico 22% Fotovoltaico 28% Geotermico 5% Bioenergie 17%

*Dati relativi al periodo gennaio-giugno
 **I dati ante 2018 si riferiscono alla produzione lorda

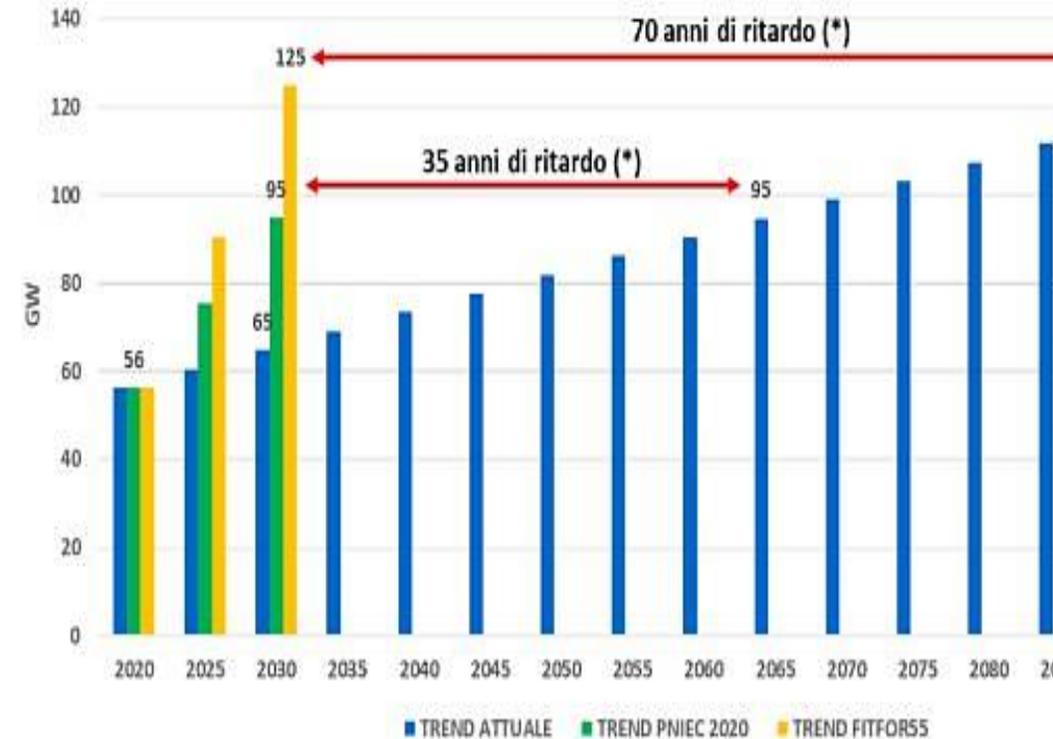


Lo scenario relativo al Fit for 55 (2035)

2° scenario al 2035: E' stato ricavato il trend di crescita delle FER (fonti energetiche rinnovabili nel periodo 2020-2030 (pari ad almeno 6 GW/anno), così come imposto dal "Fit for 55", al fine di decarbonizzare completamente il settore energetico al 2050. Da questi è stato, poi, estrapolato un valore di carbon intensity al 2035.

Il risultato finale, essendo addirittura superiore a quello previsto dal PNIEC al 2030 e dal cosiddetto "Green Deal" della Comunità Europea, **viene considerato come l'estremo superiore del livello di decarbonizzazione.**

Obiettivi FER al 2030: trend attuale vs trend atteso



(*) Anni di ritardo se l'Italia continuasse ad installare nuova capacità di generazione con il trend attuale, os

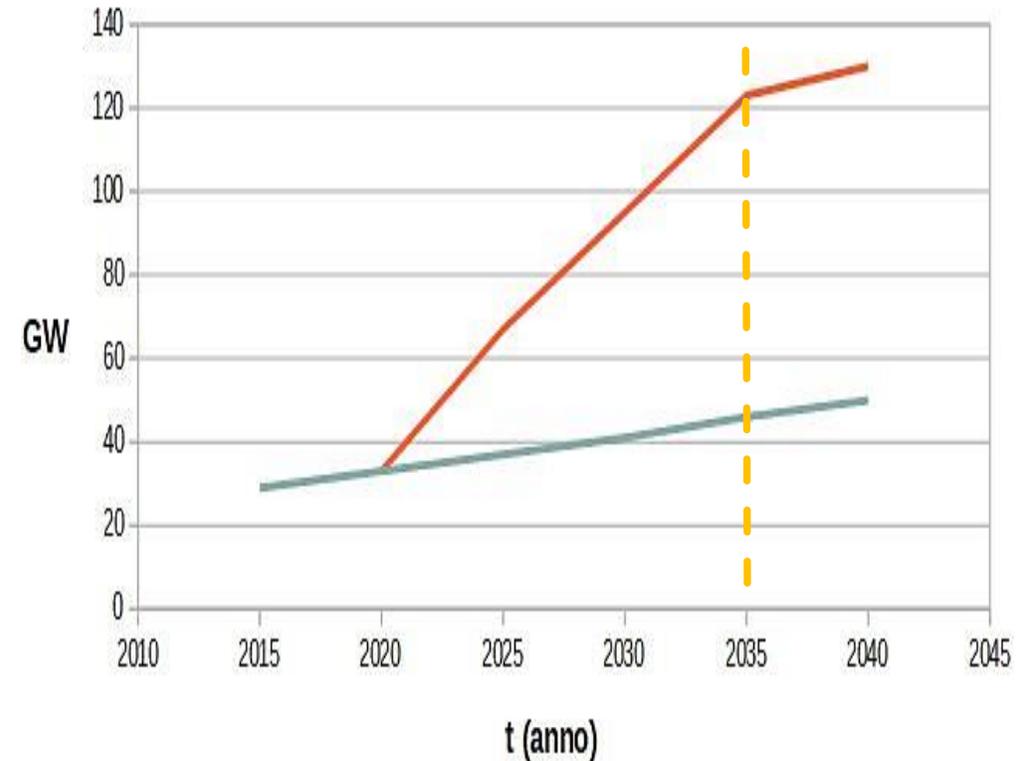
La diffusione delle fonti rinnovabili

- L'analisi effettuata ha evidenziato che l'incremento della diffusione delle FER variabili (eolico + fotovoltaico, con l'idroelettrico costante) sarà compreso tra le due curve limite.
- Il valore di incremento oltre il 2035 risulterebbe minore, a causa della impossibilità di effettuare dello storage stagionale, il che renderebbe inevitabile il curtailment produttivo, determinando così una complessiva convenienza economica e una diffusione minori.
- Valori superiori di espansione, nonostante le elevatissime richieste di connessione (sia in AT, MT che BT) risultano del tutto inattuabili anche a causa della inadeguatezza della rete elettrica nazionale (basso CosFi, sbilanciamento Sud-Nord, etc.)

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Nuova capacità installata variabile (PV+eolico)

GWanni



La Carbon Intensity al 2035

La C.I. corrispondente a questi due scenari di riferimento sarà:

Fit for 55: 152 gCO₂/kWh

Business As Usual: 305 gCO₂/kWh

Considerazioni importanti da fare:

- 1) Entrambi questi valori sono stati calcolati rispetto alla ipotesi (assai conservativa) di **costanza dei consumi energetici elettrici**. Se questi dovessero in futuro aumentare, così come previsto da numerose modellazioni nonché dall'evidente **maggiore ricorso a sistemi elettrici (EV, Heat-pump, etc.)**, sarebbe inevitabile l'aumento percentuale della produzione elettrica da fonti non rinnovabili (mancato abbandono) e, pertanto, un **aumento del valore di C.I.**
- 2) I suddetti valori ancora non prendono in considerazione le conseguenze della **guerra Russo-Ucraina**, come, ad esempio, la ridotta disponibilità di gas naturale per usi energetici, la quale ha imposto nuovamente l'utilizzo del carbone come combustibile sostitutivo.

La Carbon Footprint relativa alla produzione delle batterie

- Con il mix energetico italiano e la conseguente Carbon Intensity è stato inoltre possibile inserire il dato essenziale di partenza per il calcolo della immissione di CO₂ in ambiente relativa alla produzione di ciascuna unità energetica di batteria (1kWh).
- Nello specifico, è stato **effettuato un approfondito confronto critico tra cinque dei più recenti e rilevanti LCA disponibili** in letteratura e ricavare dagli stessi le leggi di dipendenza della produzione specifica di CO₂ dal mix energetico. Queste sono state ricalcolate rispetto alla Carbon Intensity attuale e futura del nostro Paese al fine di ottenere una media corretta.

I risultati degli LCA batterie con la C.I. italiana 2020

Authors	Battery specific CO2 emissions (2020 mix)	Mining and Refining emissions	Equivalent emission from scrap materials
Cox et Alii (2017)	100 kgCO ₂ /kWh	Not considered	Not considered
Woody et Alii (2021)	90 kgCO ₂ /kWh	//	//
IVL (2019)	80 kgCO ₂ /kWh	Not considered	Not considered
Helmerts et Alii (2020)	90 kgCO ₂ /kWh	//	//
Volvo (2021)	95 kgCO ₂ /kWh	+65 kgCO ₂ /kWh	(+15 kgCO ₂ /kWh)

I valori ottenuti, qui specificati per la C.I. italiana di 360gCO₂/kWh risultano essere piuttosto omogenei laddove vengano considerati anche gli oneri di smaltimento (scrap materials).

Un confronto critico tra i vari LCA

- **In tutti gli LCA (tranne uno) non vengono invece considerate le emissioni derivanti dalla fase di estrazione e raffinazione del materiale**, che risultano essere assai ingenti e dello stesso ordine di grandezza della stessa produzione. Tuttavia, tali studi sono apparsi a volte poco trasparenti relativamente all'impatto derivante dalla iniziale estrazione dal sottosuolo e dalla successiva raffinazione. Infatti, il termine «raw material» è spesso confuso con il termine «mineral raw material», ciò rappresentando un notevole errore nel calcolo della produzione di CO₂.
- L'unico studio che «considera» effettivamente tale ingente peso, è quello fornito da Volvo, che, per quanto in modo non manifesto, dichiara un valore relativo alla preparazione del materiale di costruzione del veicolo nettamente superiore a quello relativo ai mezzi mossi da m.c.i

Emissioni specifiche di CO₂ per kWh di capacità di batteria al variare della Carbon Intensity

Scenario energetico	Carbon Intensity energia in Italia (kgCO ₂ /kWh)	Emissioni produzione batteria (kgCO ₂ /kWh)
2020	360	(85+65) kg CO ₂ /kWh
2035 Business as Usual	305	(65+50) kgCO ₂ /kWh
2035 Fit for 55	152	(50+40) kgCO ₂ /kWh

La riduzione delle emissioni specifiche contemplano, oltre alla riduzione della C.I.) anche l'evoluzione delle batterie in termini di densità di energia, con un aumento di circa il 20% della capacità a parità di peso.

La Carbon intensity dell'energia utilizzata nel veicolo

Al fine di determinarne il valore, sono state considerate le emissioni di CO₂ prodotte nella fase "well-to-tank". In particolare, è stato preso in considerazione il valore medio tra due valori di riferimento:

- Consorzio JEC (JRC, EUCAR, CONCAWE);
- ARGONNE Laboratories (mediante la modellazione GREET-1).

Il valore finale scelto è pari a **2800 gCO₂/dm³**, di cui 470 dei quali riconducibili alla fase "well-to-tank" (dal pozzo al serbatoio, dovuta a raffineria e trasporto) e 2330 quella "tank-to-wheel".

Considerato anche un combustibile parzialmente rinnovabile **LCF** (e-fuel + biofuel + fossile) con una C.I. complessiva pari a **1700 gCO₂/dm³** (-40%)

Per quanto riguarda i valori di C.I. dell'energia elettrica da utilizzare si è utilizzata quella prima calcolata, ma **avendo considerato un rendimento pari all'86%** circa legato a perdite di trasmissione di rete e di trasformazione nel sistema di ricarica.

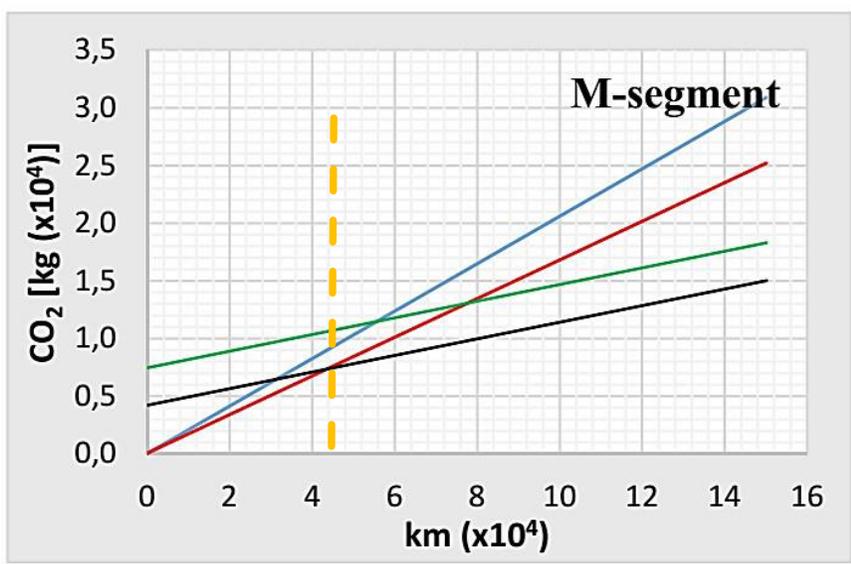
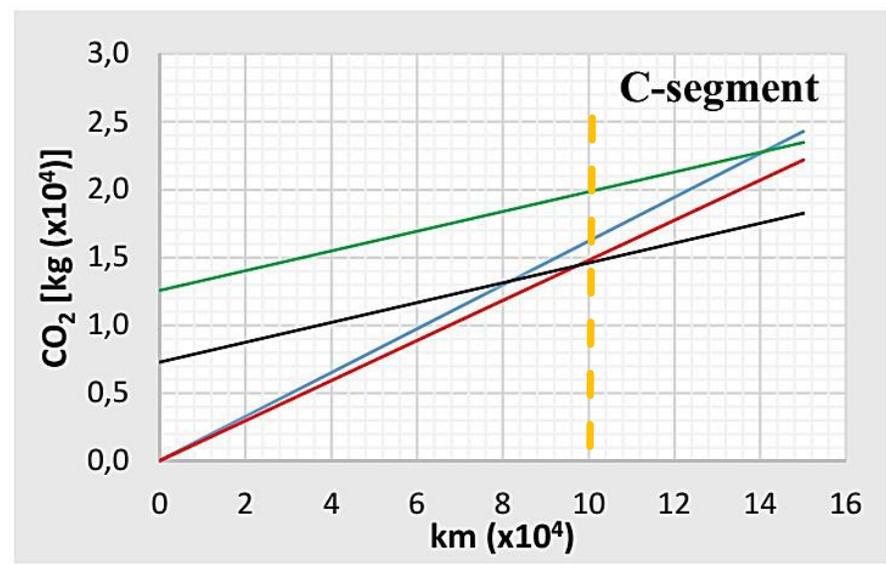
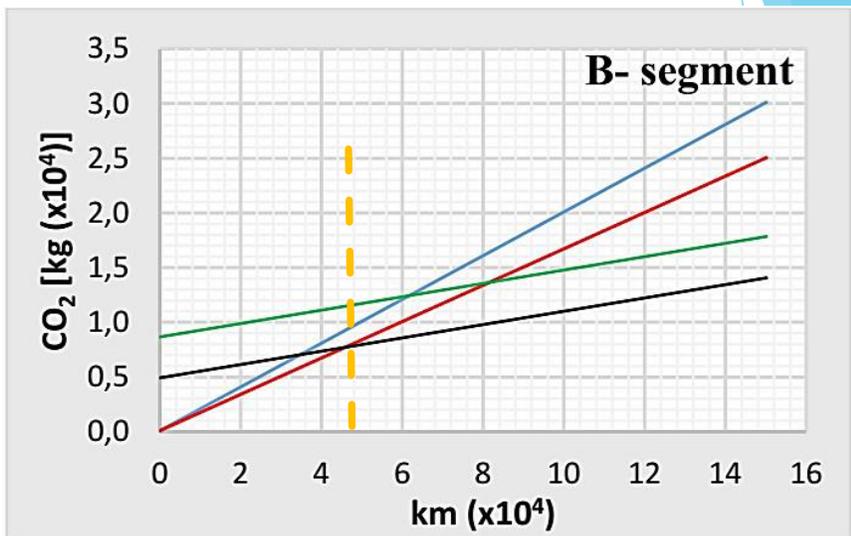
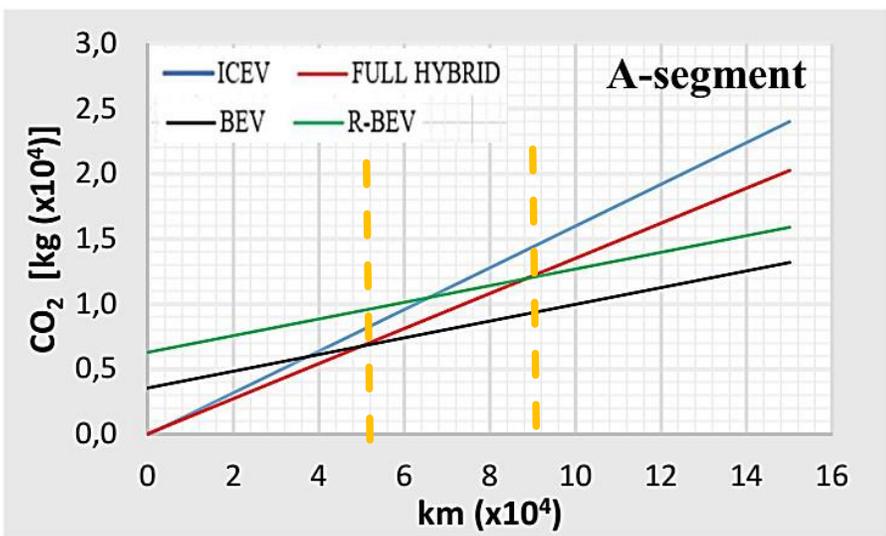
Quadro riassuntivo delle C.I. dell'energia

Scenario	Carbon Intensity Italia (kgCO ₂ /kWh)	Emissioni produzione batteria (kgCO ₂ /kWh)	Carbon Intensity combustibile (kgCO ₂ /kWh)	Incrementi ed evoluzioni
2020	360	85+65	2330+470	//
2035 Business as Usual	305	65+50	2330+470	(+ 20% cap. batteria e -10% consumo m.c.i.)
2035 Fit for 55	152	50+40	2330+470	(+ 20% cap. batteria e -10% consumo m.c.i.)
2035 Fit for 55 con fuel "low carbon"	152	50+40	1700	(+ 20% cap. batteria e -10% consumo m.c.i.)

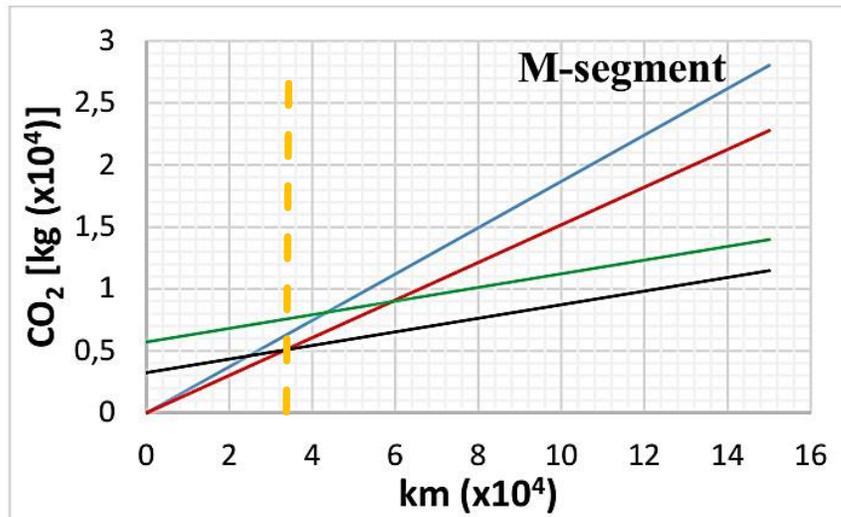
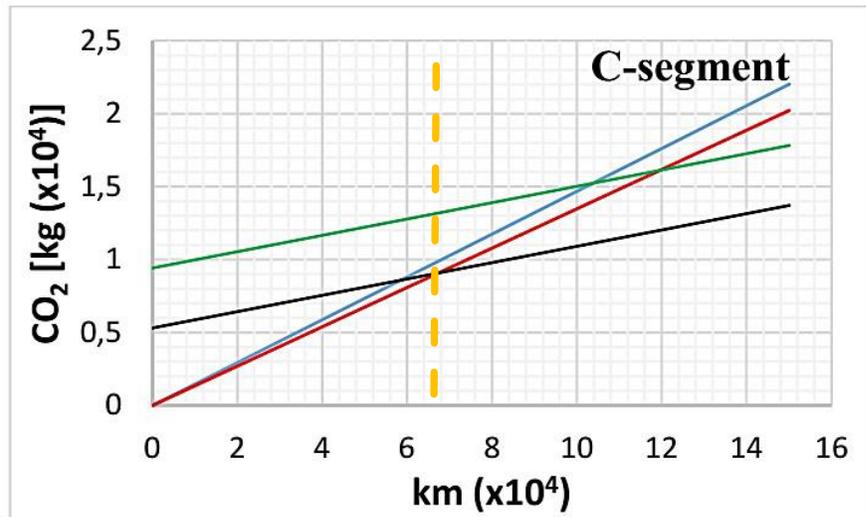
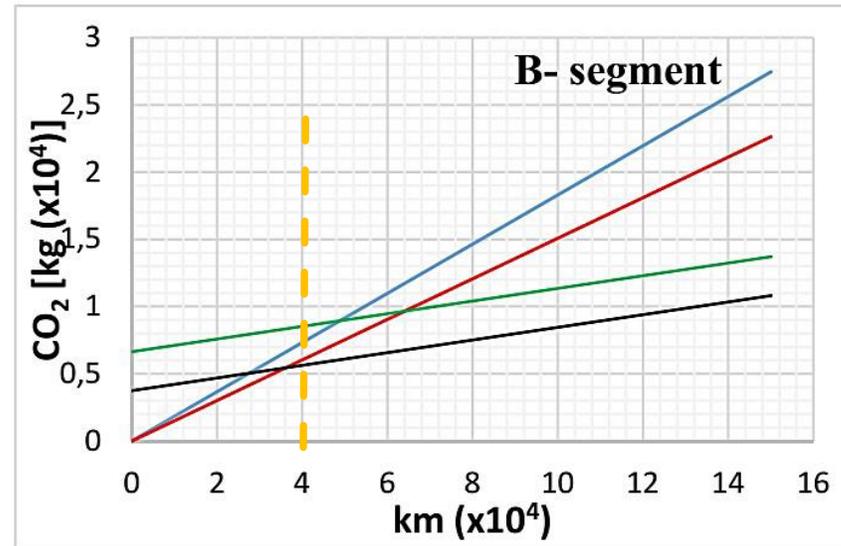
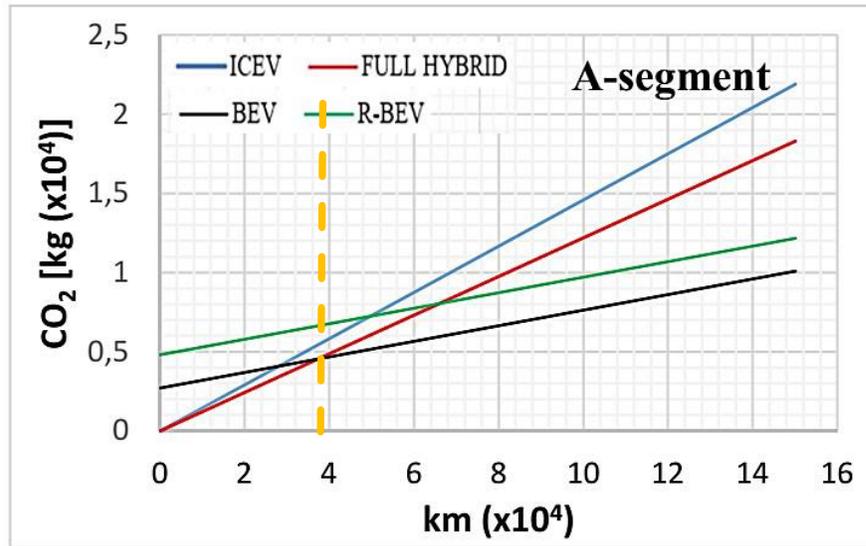
I veicoli considerati

ICEV/ Mild Hybrid Car segment	Manufacturer car model	Tank-to-Wheel efficiency (km/dm ³)	Well-to-Wheel CO ₂ emissions (gCO ₂ /km)	Battery Capacity (kWh)	Battery carbon Intensity (kgCO ₂ /kWh)
A	FCA Panda	17,5	160	0,13	11 (+9)
B	Renault Clio-ICE	13,9	201	//	//
C	FCA 500 X	17,4	161	0,80	68 (+52)
M	Jeep Renegade	13,6	206	0,80	68 (+52)
Full Hybrid Car segment					
A	Toyota Yaris	20,8	135	0,75	64 (+49)
B	Renault Capture	16,8	167	1,20	102 (+78)
C	Toyota Corolla	18,9	148	0,75	64 (+49)
M	Renault Arkana	16,7	168	1,20	102 (+78)
BEV Car segment	Manufacturer car model	Battery to wheel efficiency (km/kWh)	Plant-to-Wheel CO ₂ emissions (gCO ₂ /km)	Battery Capacity (kWh)	Battery carbon Intensity (kgCO ₂ /kWh)
A	FCA 500	5,63	64	42	3570 (+2730)
B	Renault Zoe	5,91	61	58	4930 (+3770)
C	VW ID3	4,95	73	82	7310 (+5330)
M	Peugeot 2008	5,02	72	50	4250 (+3250)

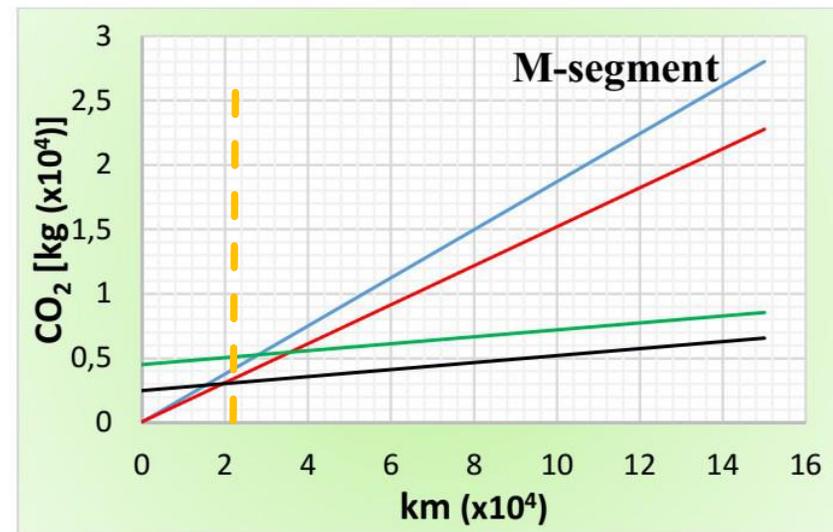
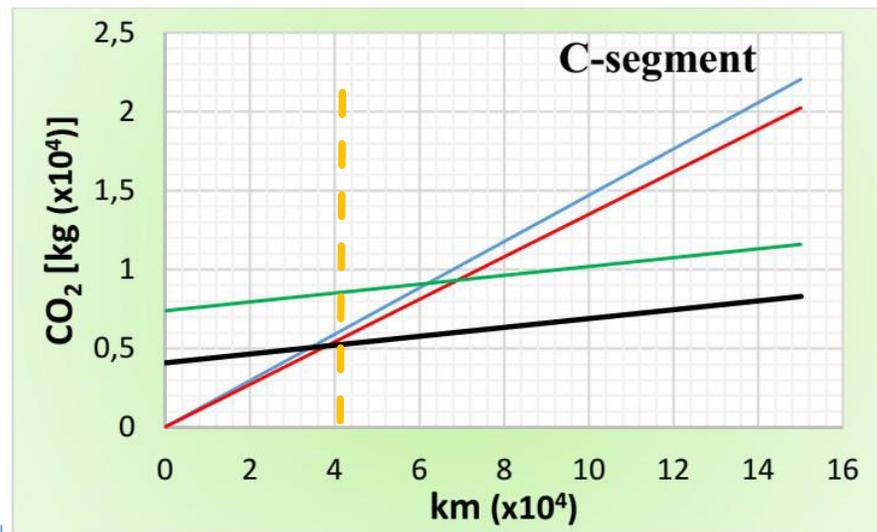
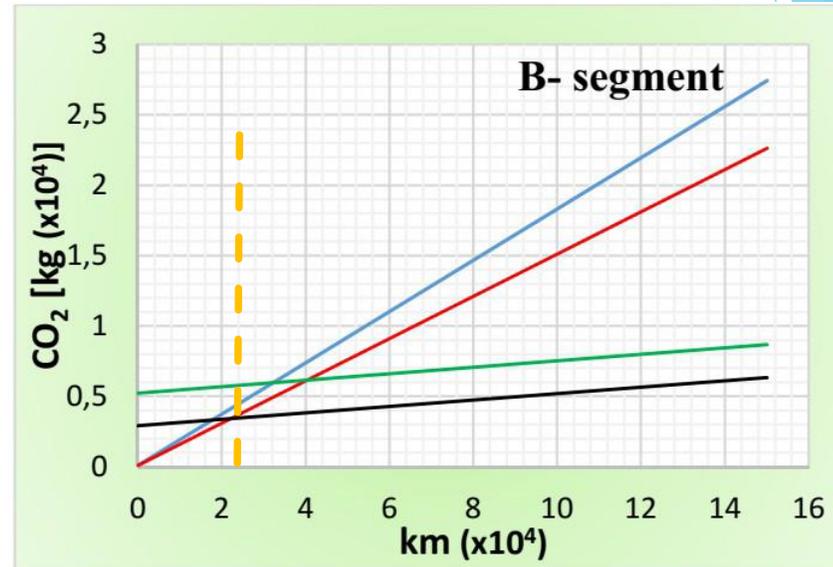
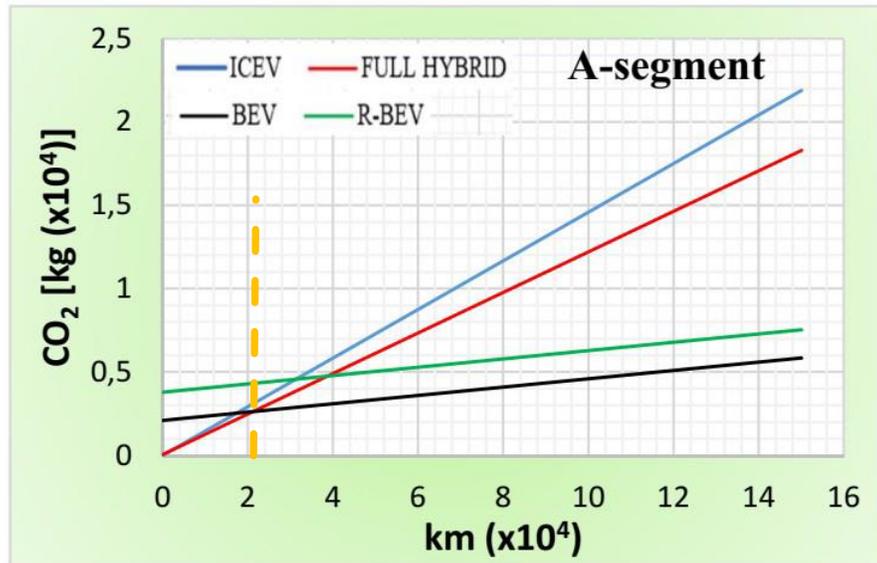
Quadro emissivo al 2020 (Segmenti A, B, C ed M)



Quadro emissivo al 2035 con C.I. Business as Usual



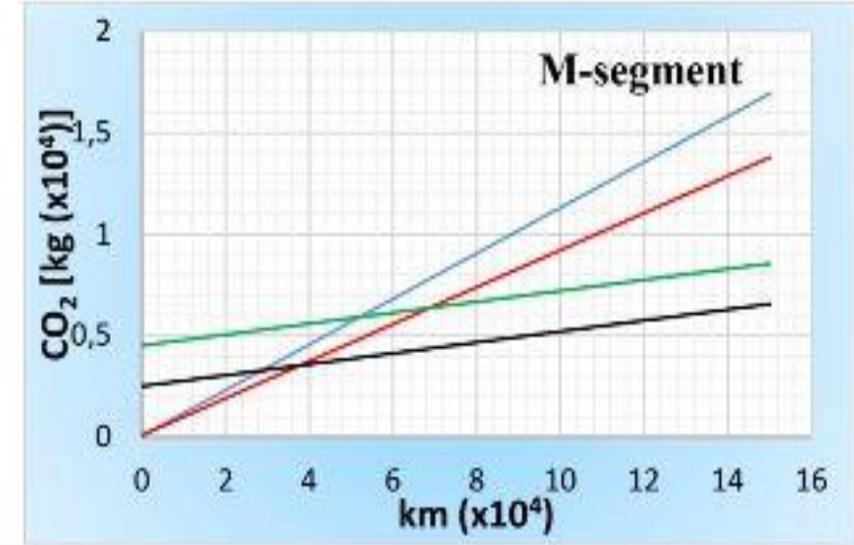
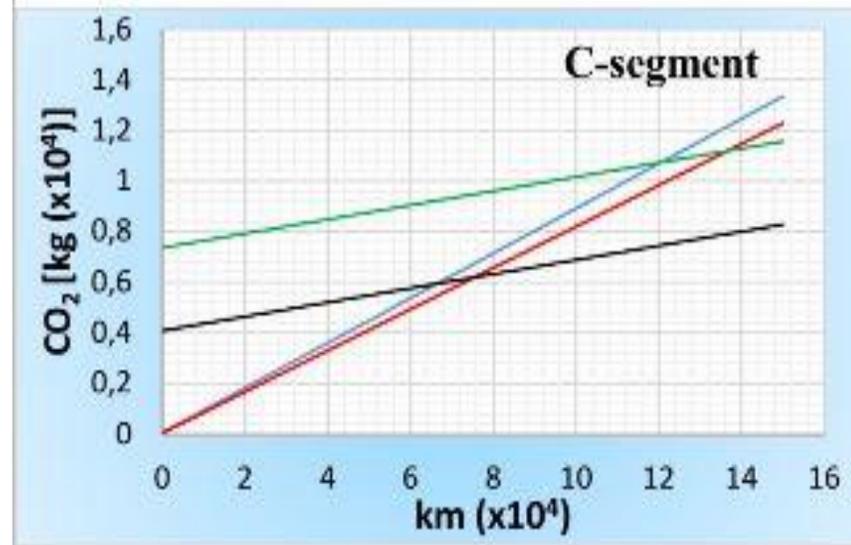
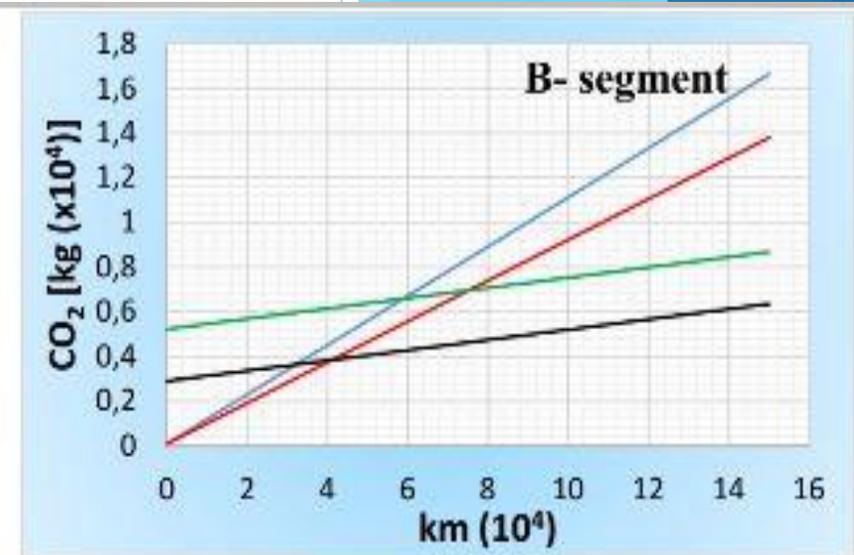
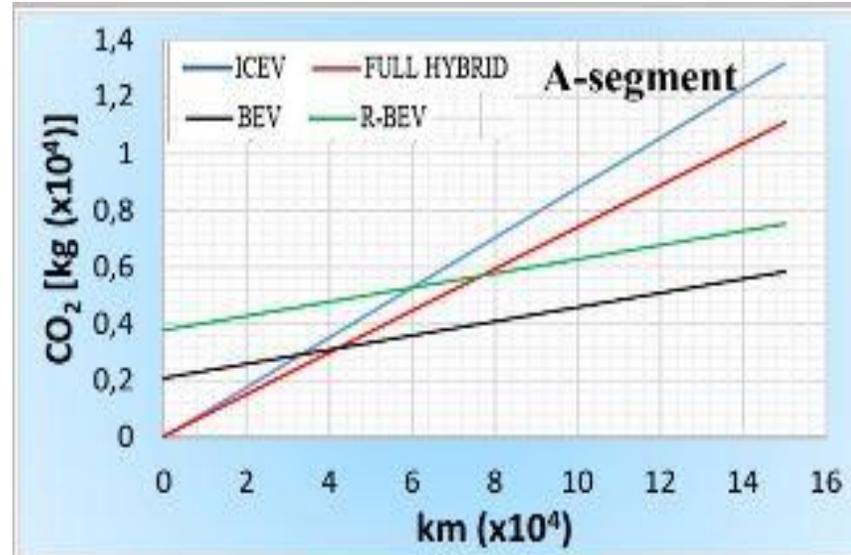
Quadro emissivo al 2035 con C.I. Fit for 55



Quadro emissivo al 2035 con C.I. Fit for 55 + LCF

Dal 2035 il curtailment energetico legato alla diffusione delle rinnovabili (FV) potrebbe consentire la produzione di e-fuels a costo competitivo. Potrebbe essere quindi proponibile un LCF da **1700 gCO₂/dm³** dedicato alle sole vetture di nuova immatricolazione. Lo svantaggio si riduce nel caso di aumento del rendimento medio del motore a c.i.

Consiglio Nazionale delle Ricerche



La convenienza rispetto alle emissioni di CO₂

- La convenienza dell'utilizzo delle EV sono abbastanza evidenti, **per quanto i valori di pareggio siano superiori a quelli solitamente indicati**, specie per le vetture con una notevole capacità energetica del pacco batteria. In ogni caso non è possibile parlare di emissioni nulle.
- Le emissioni di CO₂ sono funzione del **mix energetico** di produzione elettrica; l'Italia, per quanto virtuosa in valore assoluto per la presenza significativa di rinnovabili, **non risulta competitiva con i Paesi che già da adesso hanno emissioni** specifiche nettamente più basse anche grazie al nucleare.
- Tale influenza si ripercuote sia sulla fase produttiva delle batterie (ed il conseguente aumento del valore iniziale di soglia) e sia per l'end-use.

La convenienza rispetto alle emissioni di CO₂

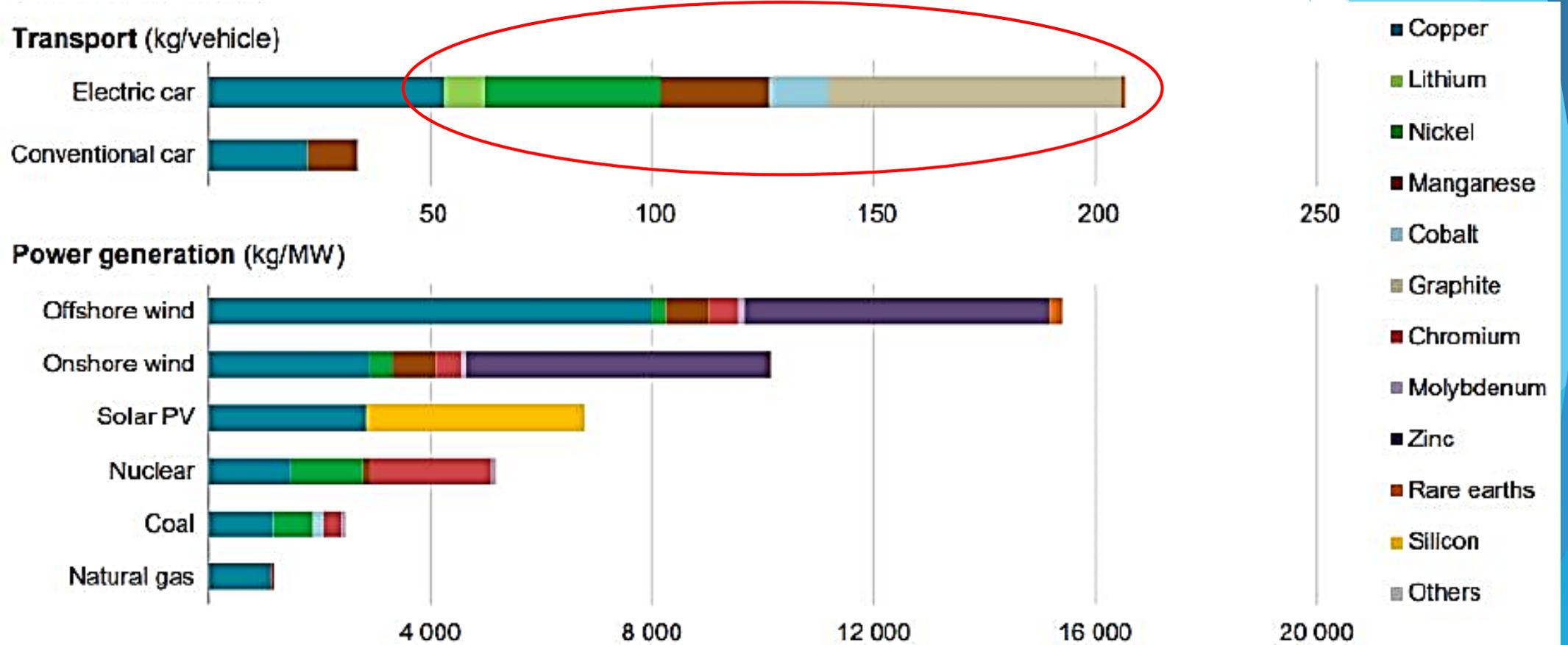
- **Il costo specifico dell'energia risulta essere ancora sensibilmente maggiore del resto d'Europa.** Questo rende assai problematica la **competitività del sistema Paese** nei confronti di altri competitors rispetto alla produzione delle vetture e riduce la convenienza dell'end-use per le vetture elettriche.
- La Carbon Intensity, inoltre, potrebbe non diminuire in futuro a causa dell'aumento del probabile aumento dei consumi elettrici e la contemporanea incidenza di elementi geopolitici esterni (crisi internazionali) che imporranno il ritorno a fonti fossili poco pregiate come l'olio combustibile ed il carbone
- Tale criticità è ancora più acuita dalla **totale assenza di materie prime strategiche** necessarie non solo alla elettrificazione del trasporto leggero, ma anche per la transizione green del Fit for 55

La richiesta di materie prime per la decarbonizzazione (Green Revolution)

	Rame	Nichel	Cobalto	Litio	Terre rare	Cromo	Zinco	Alluminio	Platino
Eolico	●	●	○	○	●	●	●	●	○
FV	●	○	○	○	○	○	○	●	○
CSP	●	●	○	○	○	●	●	●	○
Idroelettrico	●	○	○	○	○	●	●	●	○
Bioenergie	●	○	○	○	○	○	●	●	○
Geotermoelettrico	○	●	○	○	○	●	○	○	○
Veicoli elettrici e sistemi di accumulo	●	●	●	●	●	○	○	●	○
Reti elettriche	●	○	○	○	○	○	○	●	○
Idrogeno	○	●	○	○	●	○	○	●	●
Nucleare	●	●	○	○	○	●	○	○	○

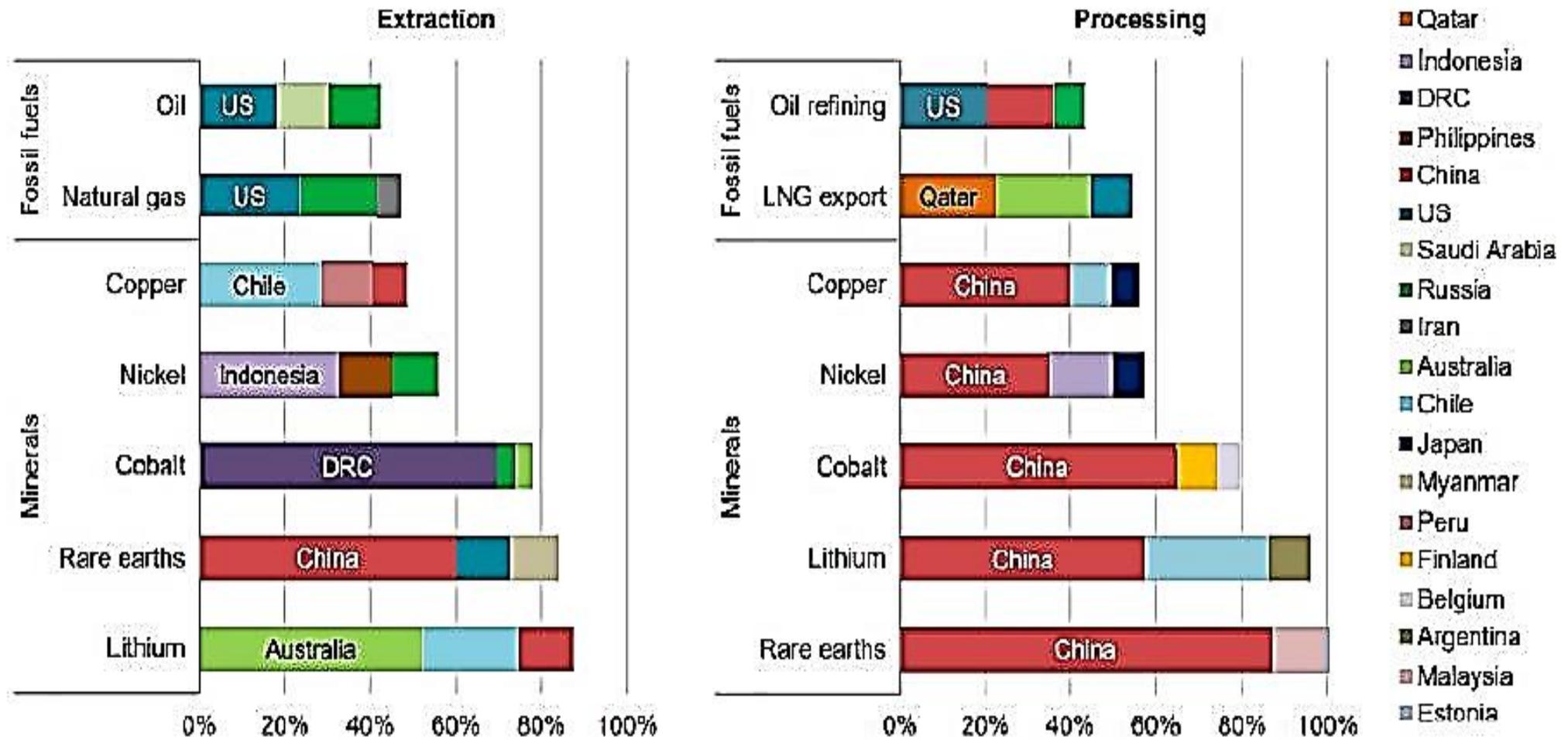
Fonte: elaborazione GSE su *IEA The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* e su *EC Study on the EU's list of Critical Raw Materials*

La richiesta di materie prime per la transizione energetica ed elettrificazione delle vetture



Fonte: IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*

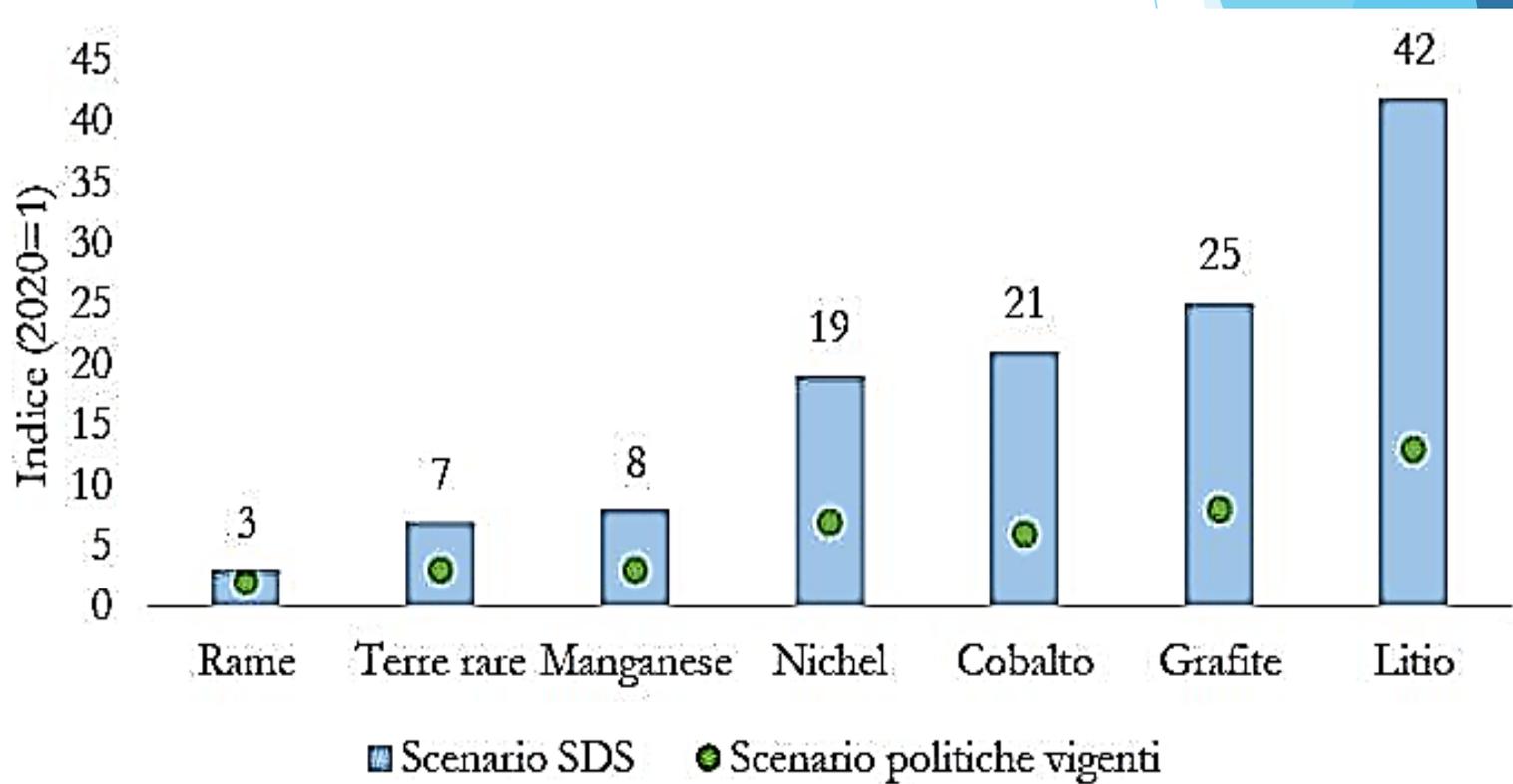
Quote percentuali dell'estrazione e della lavorazione delle materie prime al 2020



Fonte: IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*

La stima della domanda delle principali materie prime per la decarbonizzazione dal 2020 al 2040

L'incremento di richiesta del **litio** è particolarmente intensa, **oltre 40 volte la richiesta attuale** (tra le più alte della storia della produzione industriale). Anche **nichel, cobalto e grafite** risultano essere critiche in tal senso, anche per ragioni **geopolitiche**.

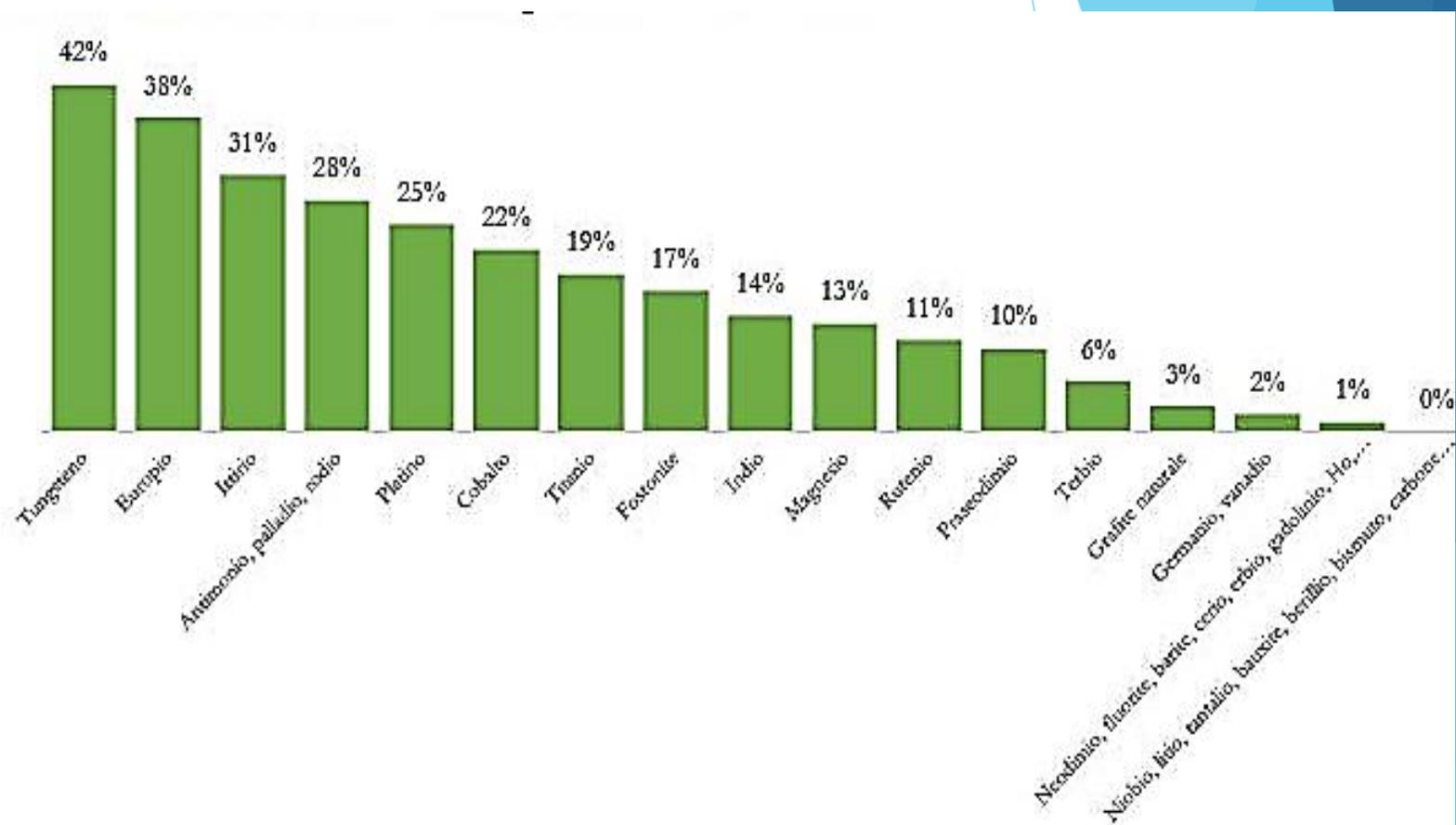


Fonte: IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*

Tasso di riciclo di alcune materie prime secondarie nel 2020 (UE)

Il tasso di riciclo di alcuni materiali risulta essere ancora limitata se si vogliono ottenere materie prime di Grado A, necessarie per la produzione di batterie ad alte prestazioni.

Questo, assieme al tasso di incremento della richiesta di materiale prima visto, rende quasi trascurabile l'impatto del riciclo per i prossimi decenni.

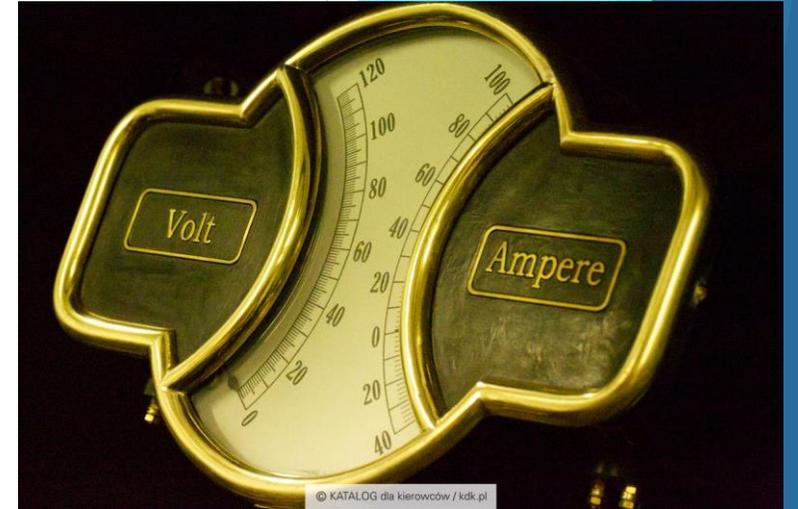


Fonte: EC, *Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020)*

Conclusioni finali

- L'analisi ha mostrato un **evidente vantaggio** dei veicoli elettrici al fine di aumentare l'efficienza energetica e ridurre le emissioni inquinanti (specie nelle aree urbane).
- Lo studio ha anche consentito di **quantificare tale vantaggio** rispetto alle motorizzazioni convenzionali, evidenziando altresì che esistono **margini importanti di miglioramento in futuro, sia rispetto al combustibile utilizzato che rispetto al rendimento medio del motore a c.i.**
- **L'Italia non si trova in una condizione ideale** per quanto riguarda la convenienza economica ed emissiva rispetto alla produzione di batterie rispetto ad altri Paesi (Svezia, Francia, etc.) che vantano una ridotta Carbon Intensity **anche grazie alla disponibilità del nucleare.**
- E' necessario indirizzare la ricerca verso **soluzioni alternative** che possano funzionare come EV in ambito urbano ma sfruttare i vantaggi dei combustibili LCF in condizioni di Long Range.

Porsche «Semper Vivus» 1898



Consiglio Nazionale delle Ricerche

 **STEMS**

NAPOLI 24-25 NOVEMBRE 2022

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Francesca Maria Grimaldi

Pietro Capaldi

Consiglio Nazionale delle Ricerche



NAPOLI 24-25 NOVEMBRE 2022