

UniTE – Università della Terza Età

Area INGEGNERIA

L'AVANZARE DELLE NUOVE TECNOLOGIE e
LE IMPLICAZIONI NELLA SICUREZZA

Inquinamento e consumi energetici dei veicoli stradali: situazione e prospettive

Giorgio Zamboni

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti (DIME)
tel. 010.33.52448 – e-mail: giorgio.zamboni@unige.it



Qualità dell'aria



Tracking bad air

Poor quality air blamed for more than 6 million deaths a year

Survey of 3,000 outdoor air quality databases

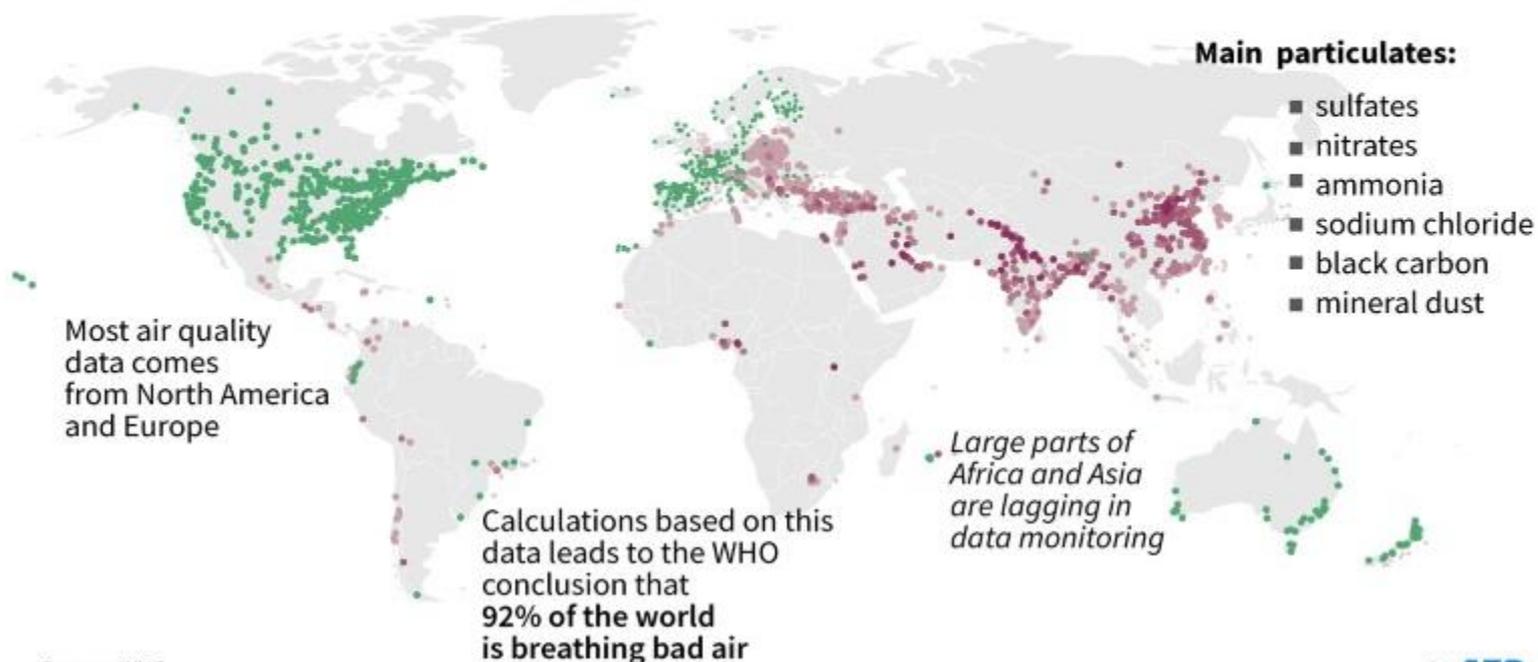
2008 - 2015

Annual average

Micrograms of PM2.5 per cubic metre of air



WHO's recommended safe level for PM2.5 is 10 micrograms per cubic metre of air, as an annual average

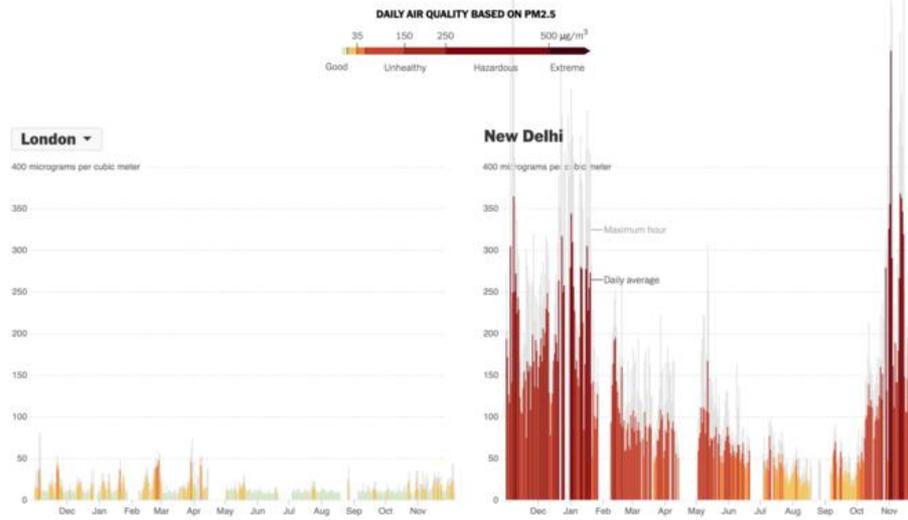


Source: WHO

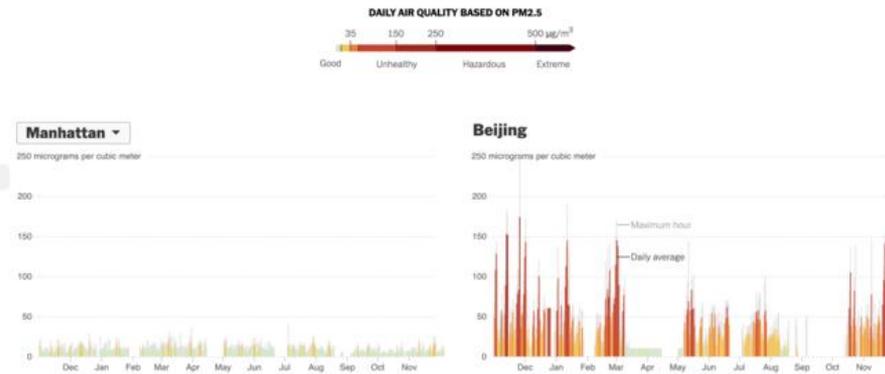
© AFP



Air Quality: A Public Health Emergency in Northern India



China's 'War Against Air Pollution'

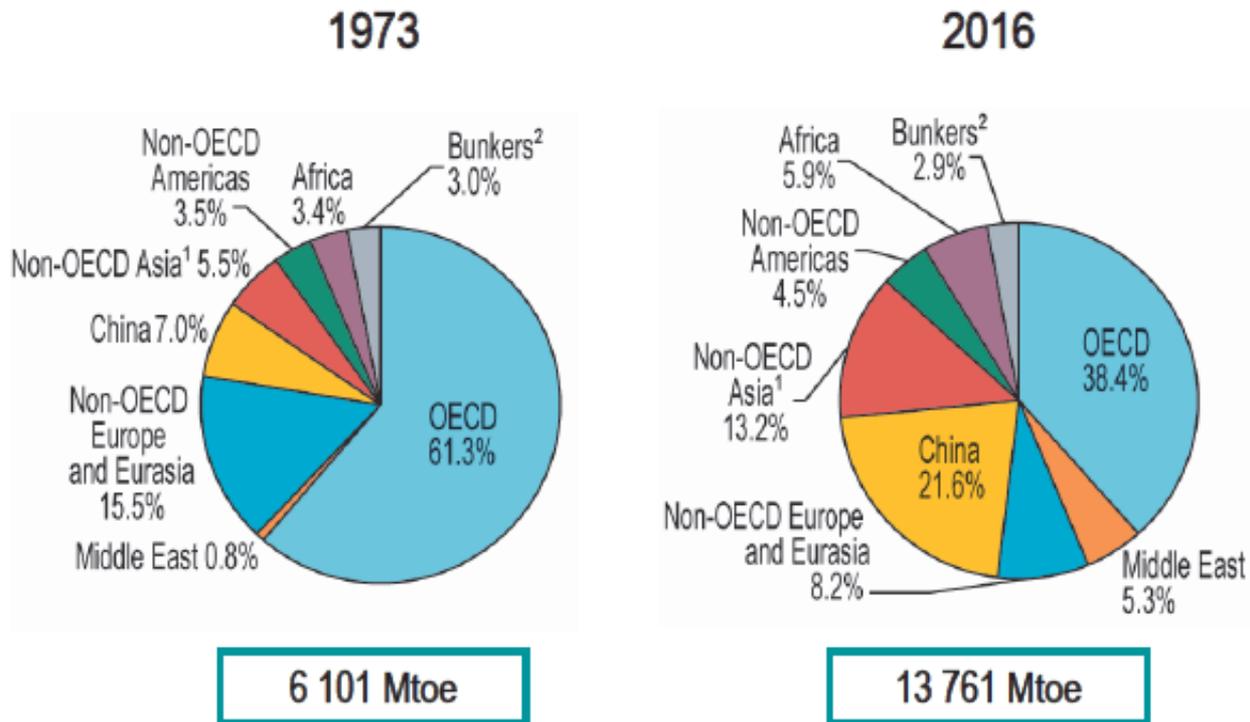


Data reflects regional estimates by [Berkeley Earth](#) based on observations at ground-level monitoring stations. The data is quality-controlled, but some anomalies or errors may persist.

Energia



1973 and 2016 regional shares of TPES



1. Non-OECD Asia excludes China.

2. Includes international aviation and international marine bunkers.

Fornitura di energia primaria per regione – anni 1973 e 2016

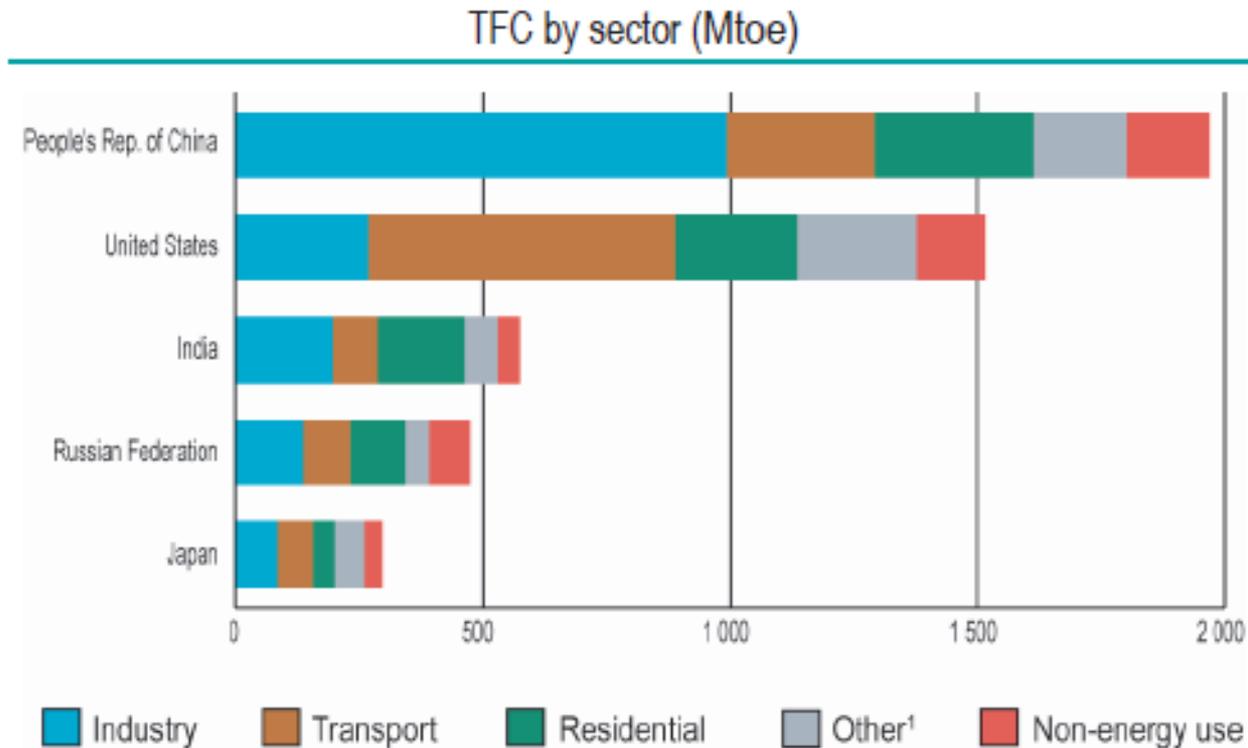
(tratto da: International Energy Agency, "Key World Energy Statistics 2018")

TPES = total primary energy supply

OECD = Organisation for Economic Co-operation and Development, comprende 36 nazioni (la maggior parte degli stati europei appartenenti all'UE, Australia, Canada, Cile, Giappone, Corea, Messico, Nuova Zelanda, Norvegia, Svizzera, Turchia, Regno Unito, USA)

1 toe (tonne of oil equivalent = tonnellata di petrolio equivalente) = 10^7 kcal = $4,186 \cdot 10^7$ kJ = $11,628 \cdot 10^3$ kWh

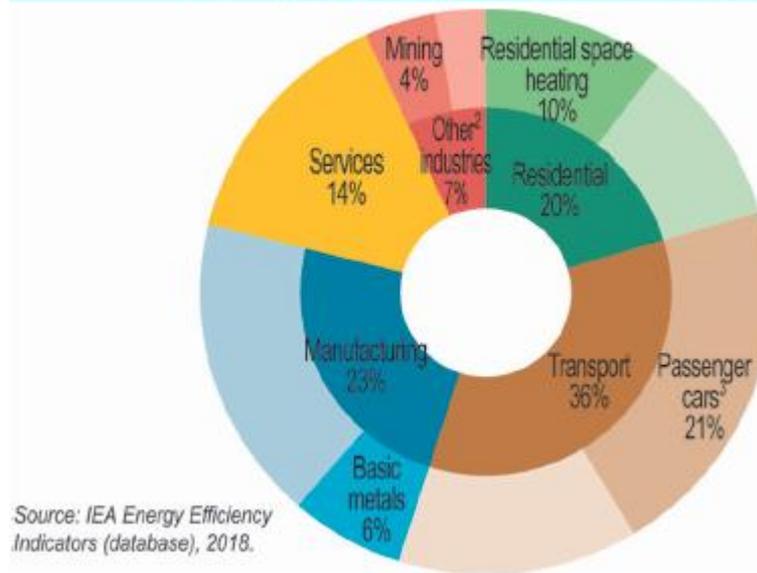
Top five countries by total final consumption (TFC)



Consumi energetici finali, le cinque nazioni con valori più elevati + suddivisione per settore

Dati riferiti al 2016 (tratto da: International Energy Agency, "Key World Energy Statistics 2018")

Largest end uses of energy by sector in IEA¹, 2015



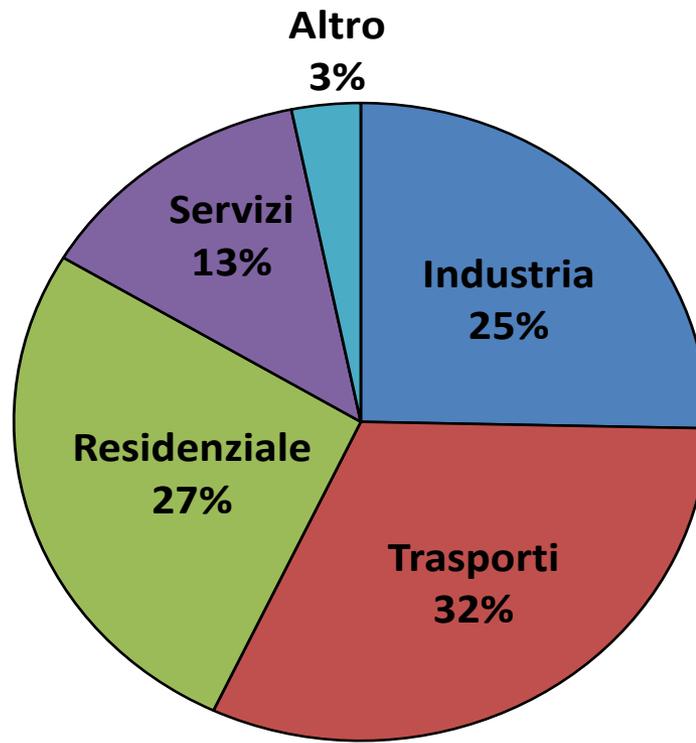
1. Refers to the 19 IEA countries for which data are available for most end uses: Australia, Austria, Canada, Czech Republic, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Japan, Korea, New Zealand, the Netherlands, Spain, Sweden, Switzerland, the United Kingdom and the United States.

2. Other industries include agriculture, mining and construction.

3. Passenger cars include cars, sport utility vehicles and personal trucks.

Consumi energetici finali, per settore

(tratto da: International Energy Agency, "Key World Energy Statistics 2018")



Consumi energetici finali, per settore EU-27 (anno 2010)
(tratto da: *Eurostat Pocketbooks – Energy, Transport and Environment indicators, 2012*)

Trasporti: stradali = 82,2%; aerei = 13,7%; ferroviari = 2,5%; navigazione interna = 1,6%



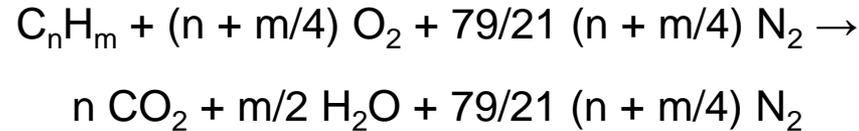
Emissioni e consumi



Combustione

Reazione chimica esotermica ad alta temperatura per convertire l'energia potenziale chimica di un combustibile in calore

Combustibile + ossidante + energia di attivazione



Inquinanti:

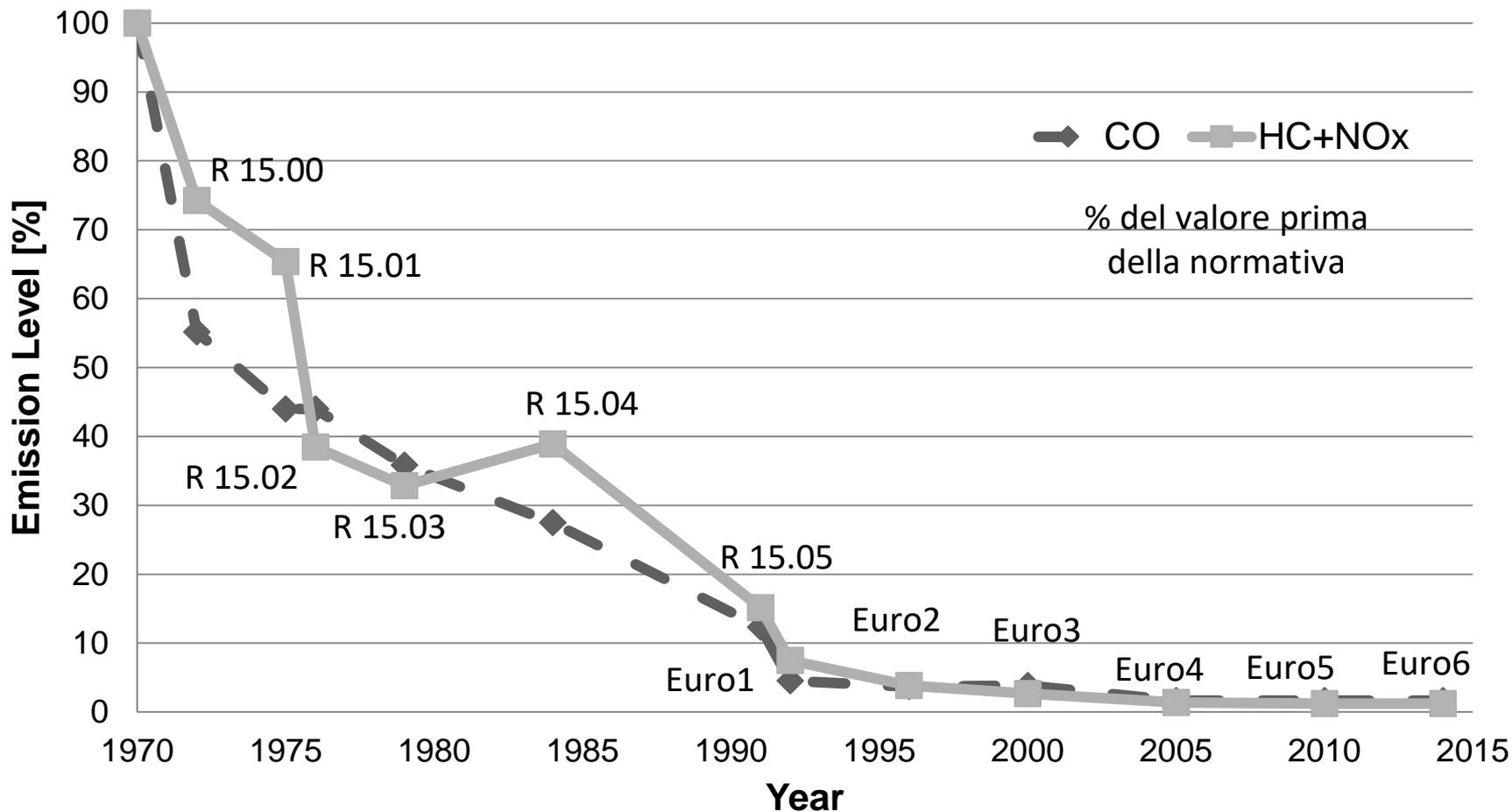
- monossido di carbonio (CO)
- idrocarburi incombusti (HC), suddivisi in metanici (CH₄) e non metanici (NMHC)
- ossidi di azoto (NO_x)
- ossidi di zolfo (SO_x)
- particolato (PM, solido)

Normale prodotto della combustione:

- anidride carbonica (CO₂, inquinante termico)
- Inquinamento primario e secondario (smog fotochimico, precipitazioni acide, effetto serra)



Evoluzione dei limiti UE sulle emissioni allo scarico – auto (motori a benzina)



Evoluzione dei limiti UE sulle emissioni allo scarico – veicoli commerciali pesanti (motori diesel)

EU Directive	Introduction date (registration)	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
99/96/EC (Stage 3)	01/10/01	2.10	0.66	5.0	0.10
99/96/EC (Stage 4)	01/10/06	1.50	0.46	3.5	0.02
99/96/EC (Stage 5)	01/10/09	1.50	0.46	2.0	0.02
Reg. 595/09 e Reg. 582/11 (Stage 6) ¹	01/01/14	1.50	0.13	0.4	0.01

¹: with Stage Euro 6, two new Type Approval test procedure were introduced, namely WHSC = World-wide Harmonised Stationary Cycle and WHTC = World-wide Harmonised Transient Cycle). Table presents limits referred to WHSC. For WHTC, limits are 4.0/0.16/0.46/0.01 g/kWh for per CO/HC/NO_x/PM.

Limits on emitted Particles Number (PN) were also introduced with Euro 6 stage, equal to $8.0 \cdot 10^{11}$ on WHSC and to $6.0 \cdot 10^{11}$ on WHTC.

Statistiche dagli inventari delle emissioni

Share of pollutant emissions between main economic sectors
European Union (year 2012) – Italy (year 2012) – Liguria Region (year 2011)

	CO [%]			NO _x [%]			SO _x [%]			NMVOC [%]			PM ₁₀ [%]			PM _{2.5} [%]		
	EU	Italy	Liguria	EU	Italy	Liguria	EU	Italy	Liguria	EU	Italy	Lig.	EU	Italy	Lig.	EU	Italy	Liguria
Energy Production (1)	3.6	2.4	5.4	22.4	9.3	17.2	60.1	49.7	69.7	10.5	7.6	0.2	7.1	2.6	3.1	6.1	3.0	2.0
Combustion (others) (2)	44.2	42.2	15.4	14.4	15.3	4.5	13.4	4.5	6.5	16.6	15.6	3.3	42.9	44.4	35.6	55.3	53.1	40.8
Combustion (industry) (3)	11.5	9.7	0.9	12.5	12.3	4.7	18.6	20.7	10.6	1.8	1.2	0.2	6.7	8.4	0.5	7.4	9.7	0.6
Production Processes (4)	10.9	5.1	0.4	2.5	0.6	-	5.2	8.9	1.4	7.5	4.7	2.2	15.2	9.0	11.3	8.5	5.0	2.6
Road Transport (7)	24.6	32.1	65.3	39.2	49.8	37.1	0.2	0.2	0.7	12.6	20.5	24.5	12.9	16.5	21.5	14.6	16.9	22.0
Other Transport (8)	2.1	5.4	4.0	6.7	12.0	35.8	2.2	15.8	9.8	1.8	4.5	2.4	1.6	4.7	12.6	2.1	5.7	14.9
Others (5, 6, 9, 10, 11)	3.1	3.1	12.6	2.3	0.7	0.7	0.3	0.2	1.3	49.2 ⁽¹⁾	45.9 ⁽²⁾	67.2 ⁽³⁾	13.6 ⁽⁴⁾	14.4 ⁽⁵⁾	15.4	6.0	6.6	17.1

⁽¹⁾ 44.3% for sector 6

⁽²⁾ 44.4% for sector 6

⁽³⁾ 47.4% for sector 6

⁽⁴⁾ 11.1% for sector 10

⁽⁵⁾ 12.7% for sector 10

Sources: - EU and Italy: Air pollutant emissions data viewer (LRTAP Convention. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>).

- Liguria Region data from the official website for the environment <http://rgetrasweb.regione.liguria.it/qpg/Tree.do>.

Classification of economic sectors according to EMEP/CORINAIR (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe/COordination INFORMATION AIR):

1: Combustion in Energy and Transformation Industry

2: Non industrial combustion plants (services, agriculture, residential)

3: Combustion in Manufacturing Industry

4: Production processes

5: Extraction and Distribution of Fossil Fuels and Geothermal Energy

11: Other Sources/Sinks

6: Solvents and Other Products Use

7: Road Transport

8: Other Mobile Sources and Machinery

9: Waste Treatment and Disposal

10: Agriculture

Statistiche dagli inventari delle emissioni – veicoli stradali

Share of pollutant and CO₂ emissions between different road vehicle categories
European Union (year 2005) – Italy (year 2011) – Genoa (year 2016)

Category	CO [%]			NO _x [%]			NMVOC [%]			PM ₁₀ [%]			CO ₂ [%]		
	EU	Italy	Genoa	EU	Italy	Genoa	EU	Italy	Genoa	EU	Italy	Genoa	EU	Italy	Genoa
Gasoline passenger cars	73.6	-	15.4	23.1	39.9	10.9	48.8	27.7	7.4	1.9	46.4	3.7	44.3	61.0	39.0
Diesel passenger cars	1.3	-	1.4	15.6	14.4	23.0	1.7	4.6	0.9	31.1	23.8	22.0	21.5	15.2	19.6
Gasoline Light Duty Vehicles	3.6	-	0.3	1.5	44.3	0.3	1.7	7.5	0.1	0.1	23.1	0.1	1.7	20.8	0.9
Diesel Light Duty Vehicles	1.1	-	0.4	5.8	1.4	7.8	1.4	60.1	0.3	19.3	6.7	9.5	6	0.6	5.6
Heavy Duty Vehicles	3.3	-	0.6	47.2	2.9	17.8	2.9	7.5	0.4	32.4	23.1	8.1	22.3	20.8	4.9
Buses	0.6	-	0.9	6.2	1.2	29.9	1.2	60.1	1.0	6.5	6.7	16.6	2.7	7.4	7.4
Mopeds	5.9	-	14.6	0.1	1.4	0.9	36.1	60.1	28.9	7.3	6.7	19.1	0.6	0.6	2.9
Motorcycles	10.6	-	66.5	0.5	9.4	6.3	6.3	60.1	61.0	1.5	6.7	20.9	0.9	2.4	19.5

- EU data from “EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2007”, European Environment Agency, <http://reports.eea.eu.int>.

- Italian data from ISPRA Environmental Yearly Statistics 2013 (<http://annuario.isprambiente.it/>).

- Data for Genoa estimated with PROGRESS (computer PROGramme for Road vehicles EmiSSions evaluation. Internal Combustion Engines Group, DIME, University of Genoa).

Emissioni di CO₂ – legame con la massa del veicolo (UE auto)

Limiti fissati dal Regolamento EC 443/2009

$$\text{CO}_2 = a \text{ [g/km]} + b \text{ [g/(km}\cdot\text{kg)]} \cdot (M \text{ [kg]} - M_0 \text{ [kg]})$$

dove:

$a = 130 \text{ g/km}$ = emissione di CO₂ quando $M = M_0$

$b = 0.0457 \text{ g/(km}\cdot\text{kg)}$

M = massa del veicolo effettiva

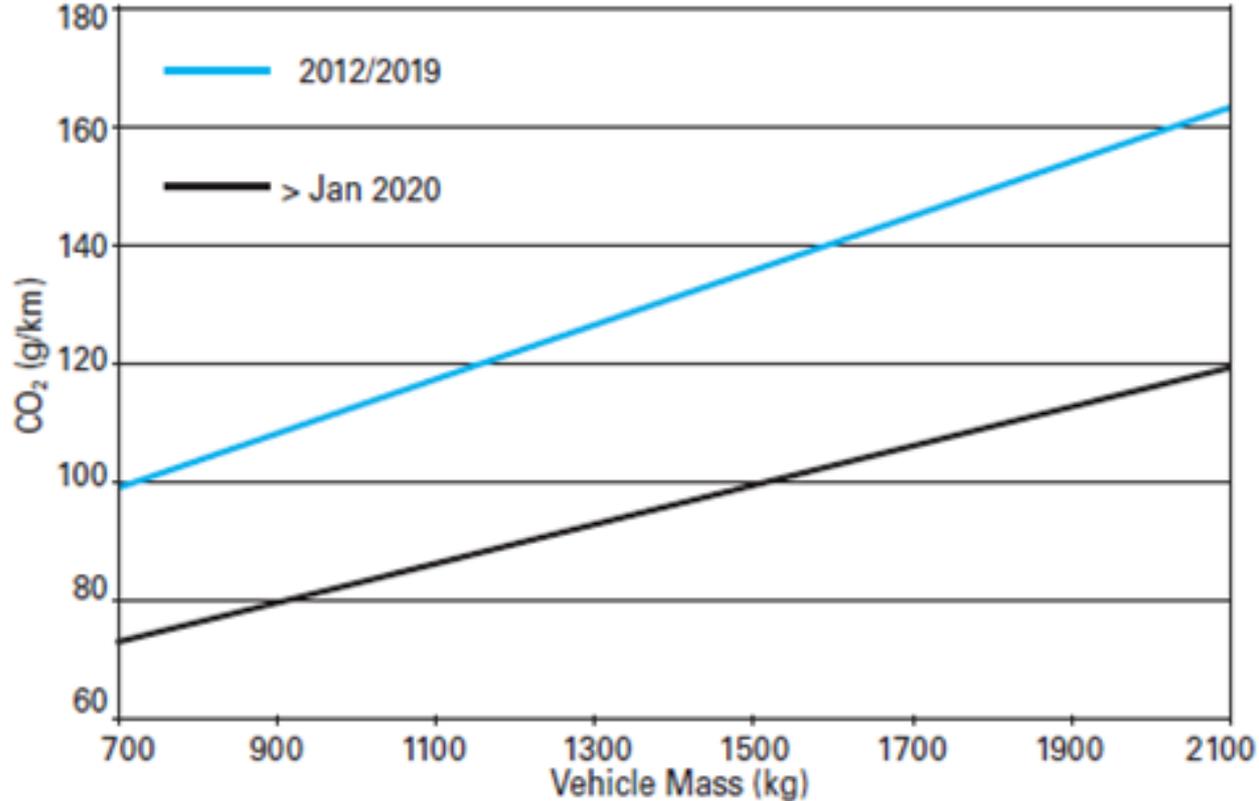
M_0 = massa del veicolo di riferimento, ottenuta dalla media delle masse delle auto vendute nei tre anni prima dell'aggiornamento dell'equazione. Nel 2016 $M_0 = 1393 \text{ kg}$ (1372 kg nel 2012).

$a = 95 \text{ g/km}$ nel 2020

Limiti applicati alle auto immatricolate da un costruttore nell'intero anno solare (media delle emissioni di CO₂ definite nella prova di omologazione)



Emissioni di CO₂ – legame con la massa del veicolo (UE auto)

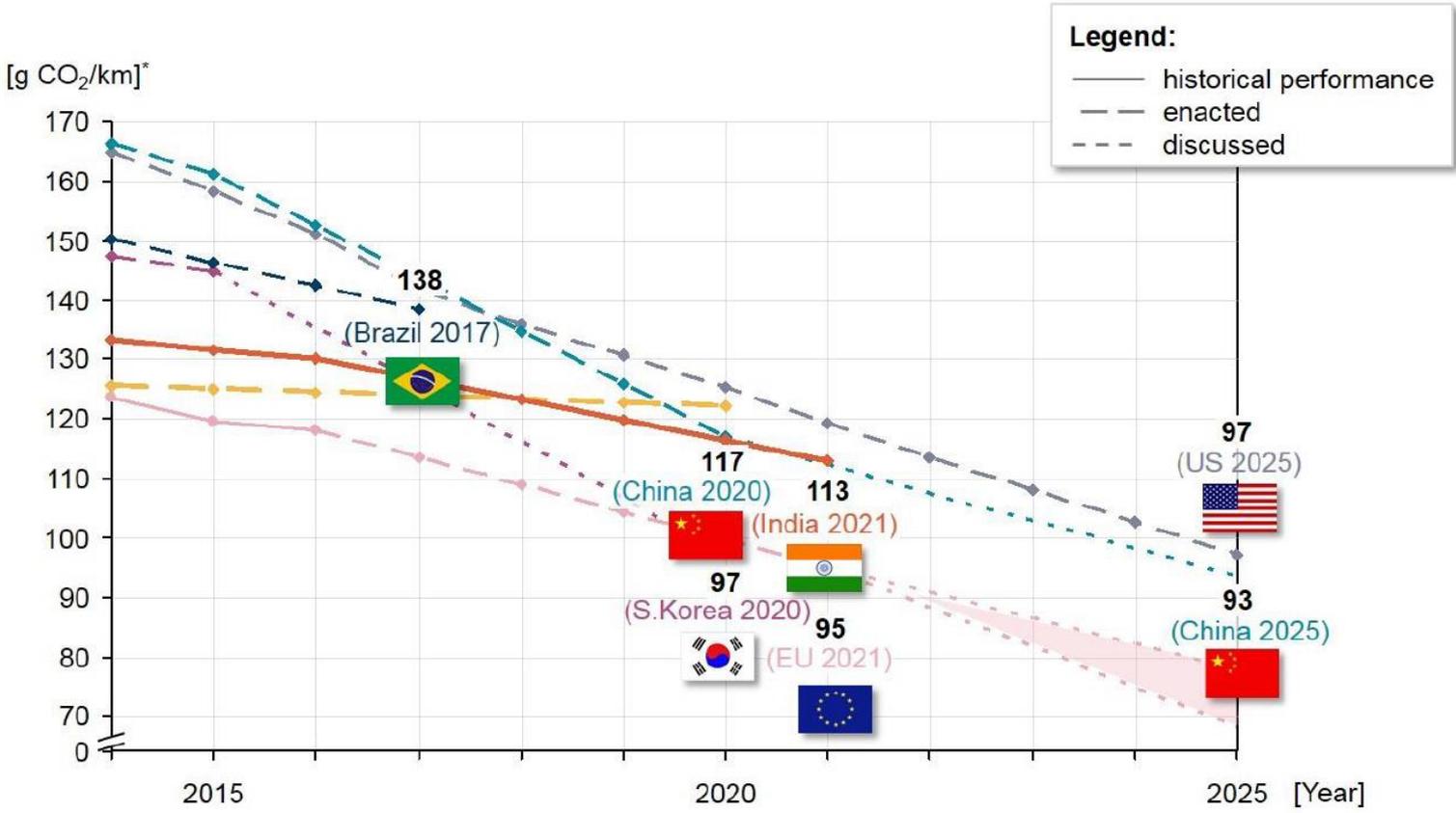


Penalità fissate per ogni grammo di CO₂ eccedente:

fino al 2019, il primo grammo corrispondeva a 5 € per ciascun veicolo, con valori crescenti fino a 95 € per il quarto grammo e quelli successivi

Da quest'anno, ogni grammo in eccesso costa al costruttore 95 €/veicolo

Obiettivi emissioni CO₂



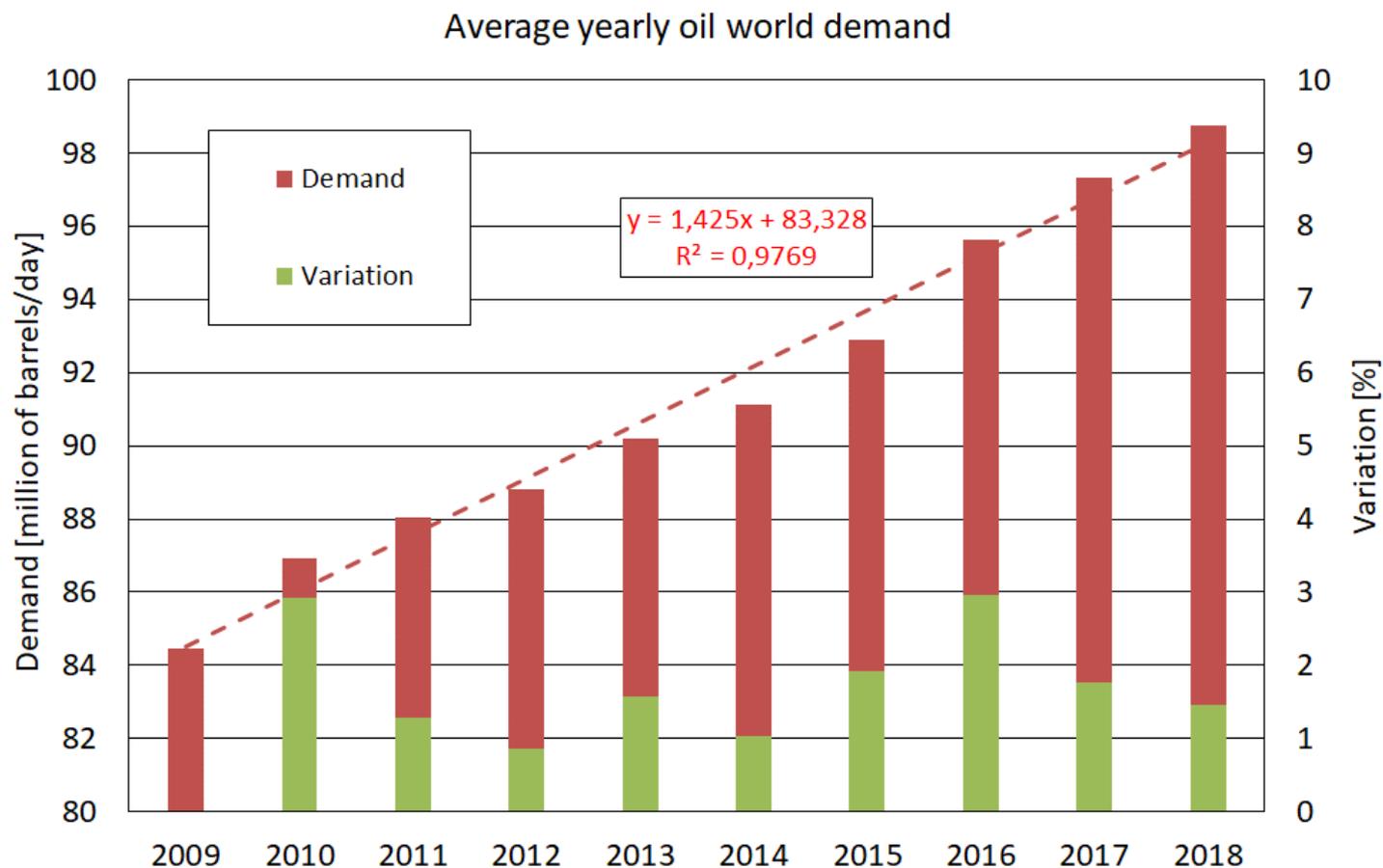
*normalized to NEDC
Source: ICCT (09/2015) & Continental assumptions



Combustibili e veicoli

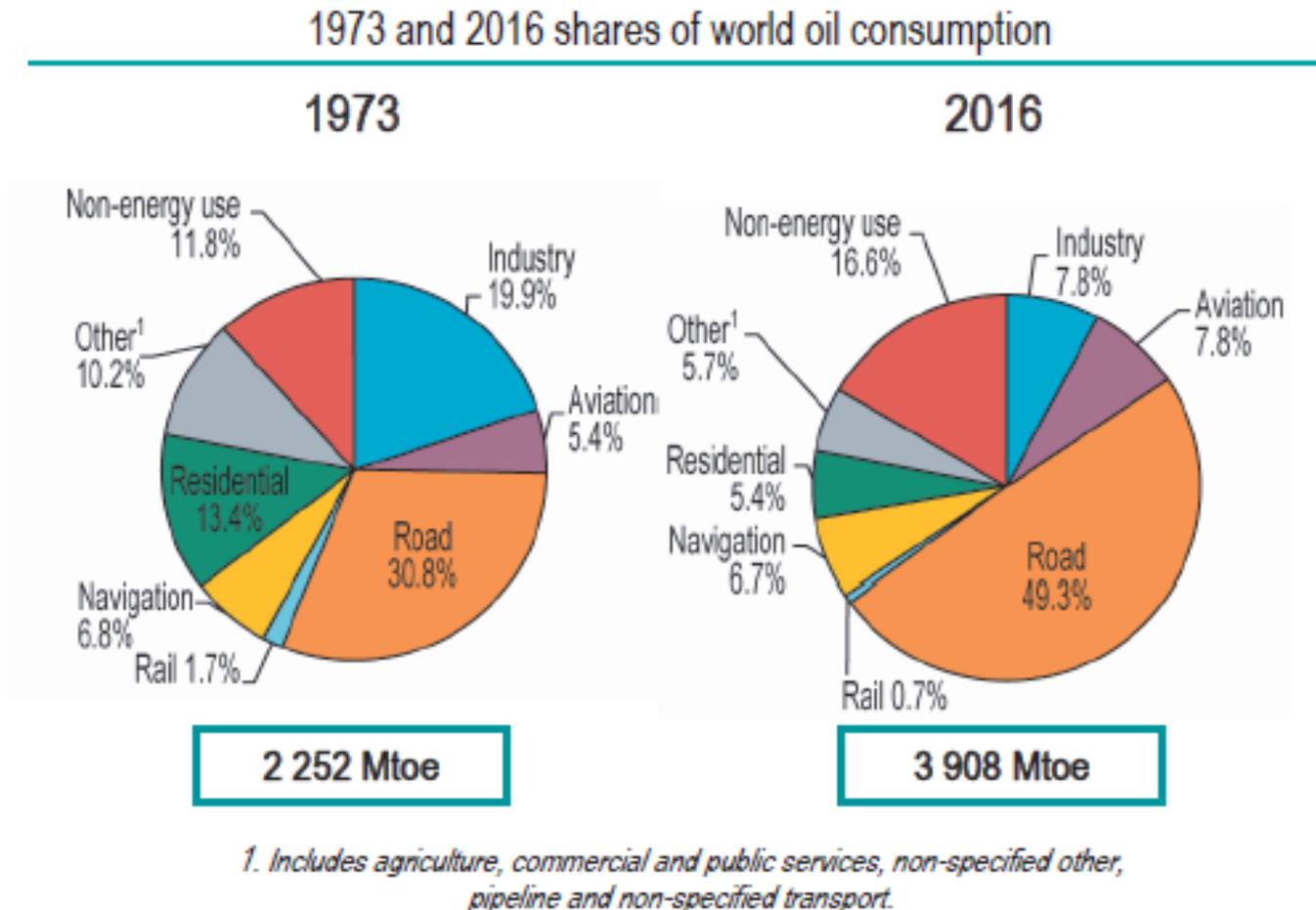


La richiesta di petrolio è cresciuta con un tasso tra l'1 e il 3% negli ultimi nove anni



Dati da www.opec.org

Il consumo di petrolio come combustibile per i trasporti è ancora in crescita

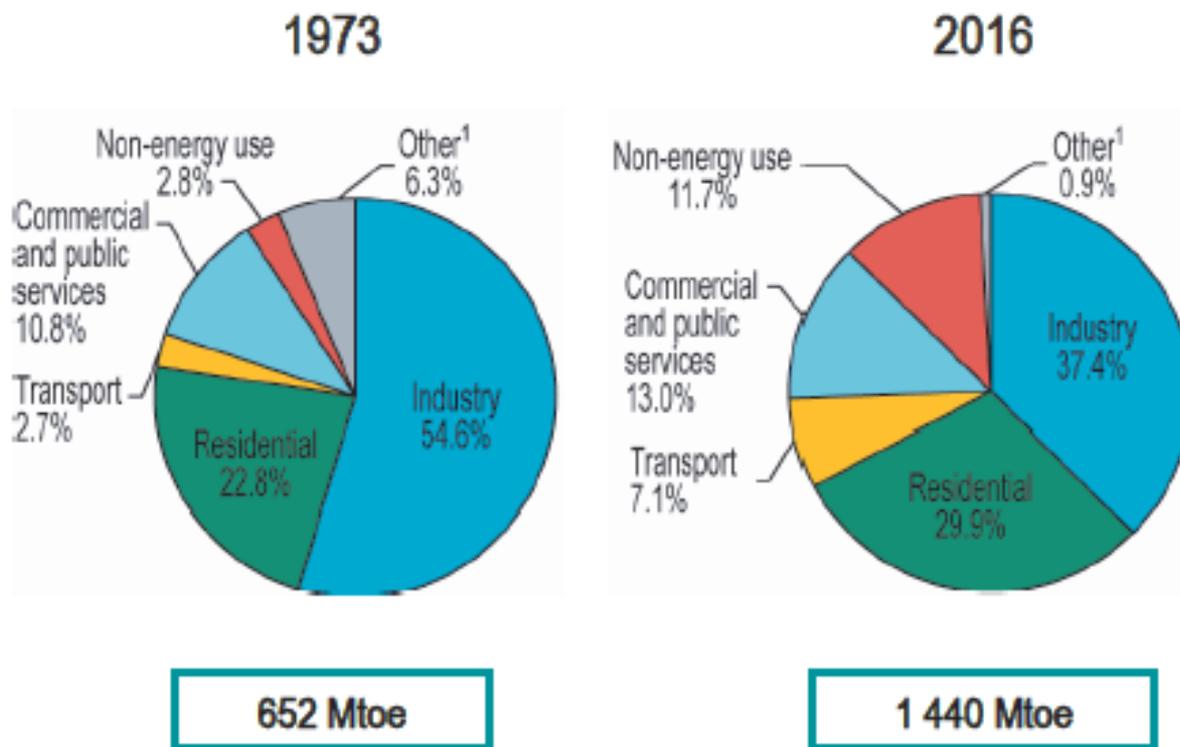


Consumo complessivo del settore trasporti: 44.7% nel 1973, 64.5% nel 2016

Tratto da Key world energy statistics 2018, International Energy Agency

La distribuzione per il gas naturale è differente

1973 and 2016 shares of world natural gas consumption



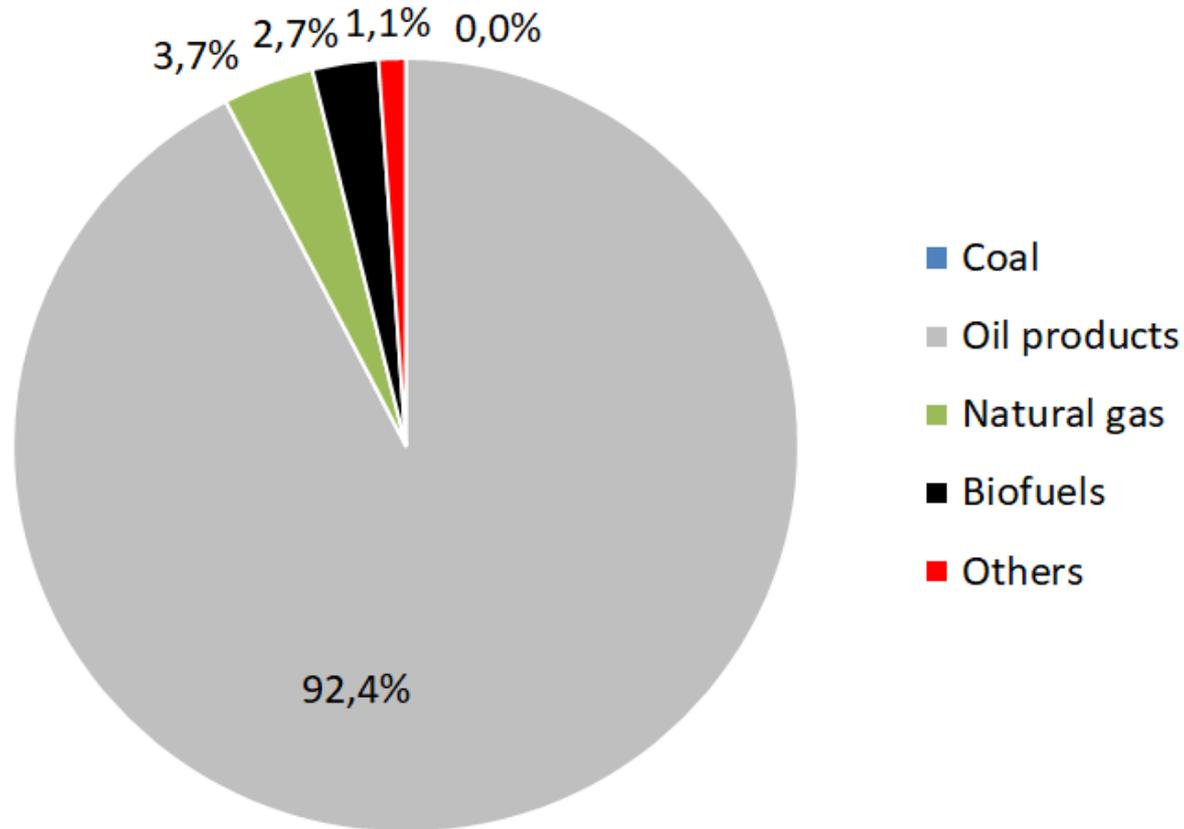
1. Includes agriculture, fishing and non-specified other.

Uso del GN nel settore dei trasporti: 17,6 Mtoe nel 1973, 102,2 Mtoe nel 2016

Tratto da Key world energy statistics 2018, International Energy Agency

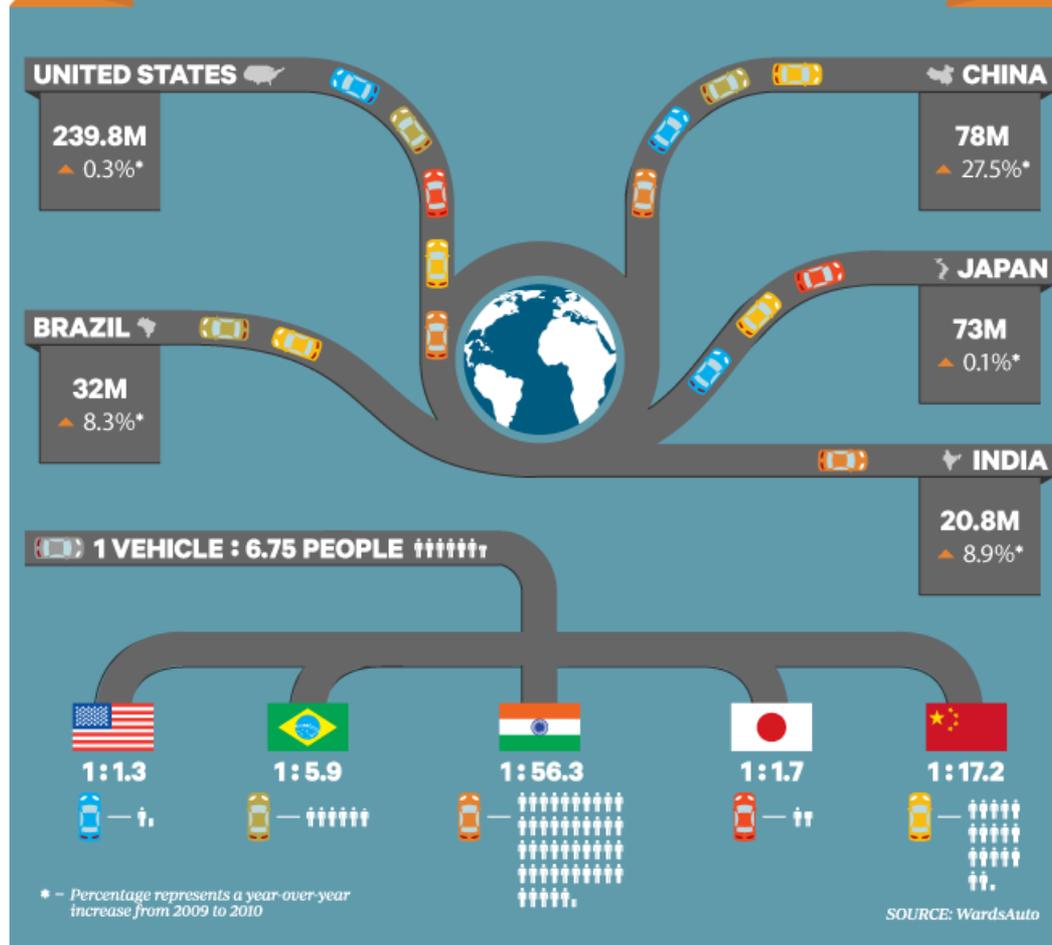
Il mercato dei combustibili per i trasporti è basato sul petrolio

Total fuel consumption for
transport = 2727,3 Mtoe - World 2016



Fonte: elaborazione di dati da Key world energy statistics 2018,
International Energy Agency

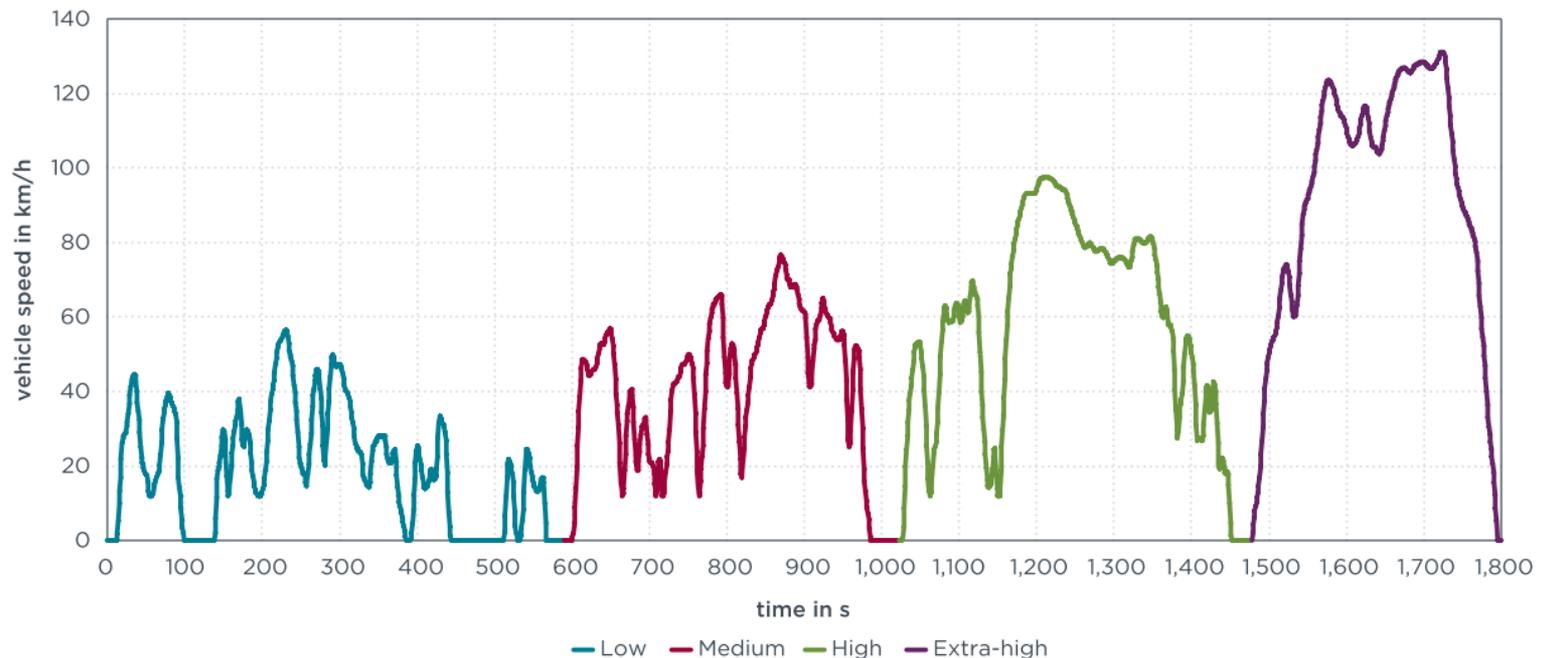
1 BILLION VEHICLES IN OPERATION



Dati riferiti al 2010

Soluzioni tecniche per la riduzione del consumo di combustibile nei motori convenzionali





Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle\Procedure (WLTC\P): è il ciclo/procedura di omologazione attualmente utilizzato in Europa, di recente adozione

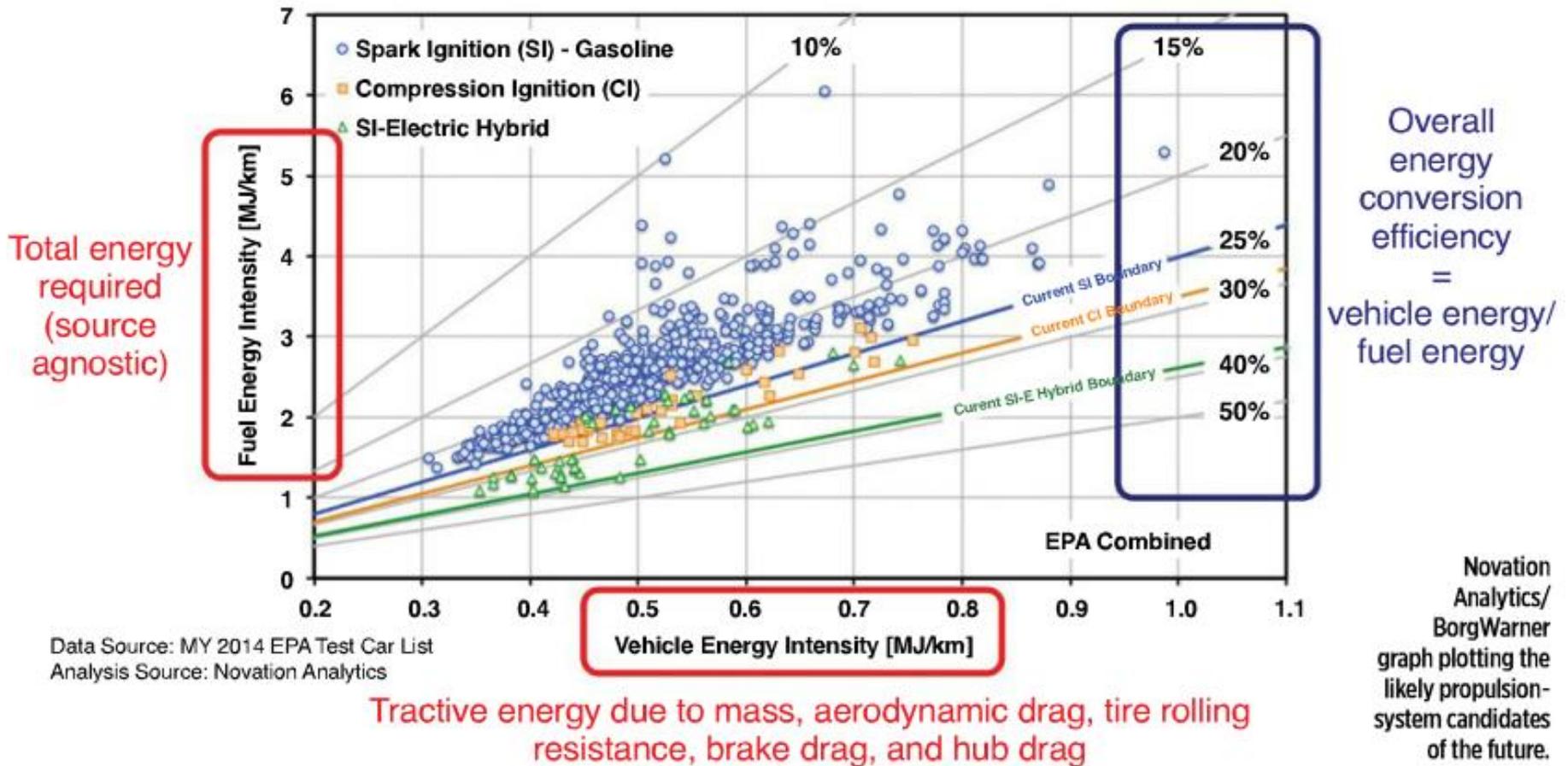
Velocità veicolo 30 km/h: potenza richiesta al motore = 3-4 kW

Velocità veicolo 50-70 km/h: potenza richiesta al motore = 10-11 kW

Velocità veicolo 120 km/h: potenza richiesta al motore = 20-22 kW

Dati riferiti a strada piana, veicolo equipaggiato con motore diesel 1.3 dm³ Multijet in moto a velocità costante

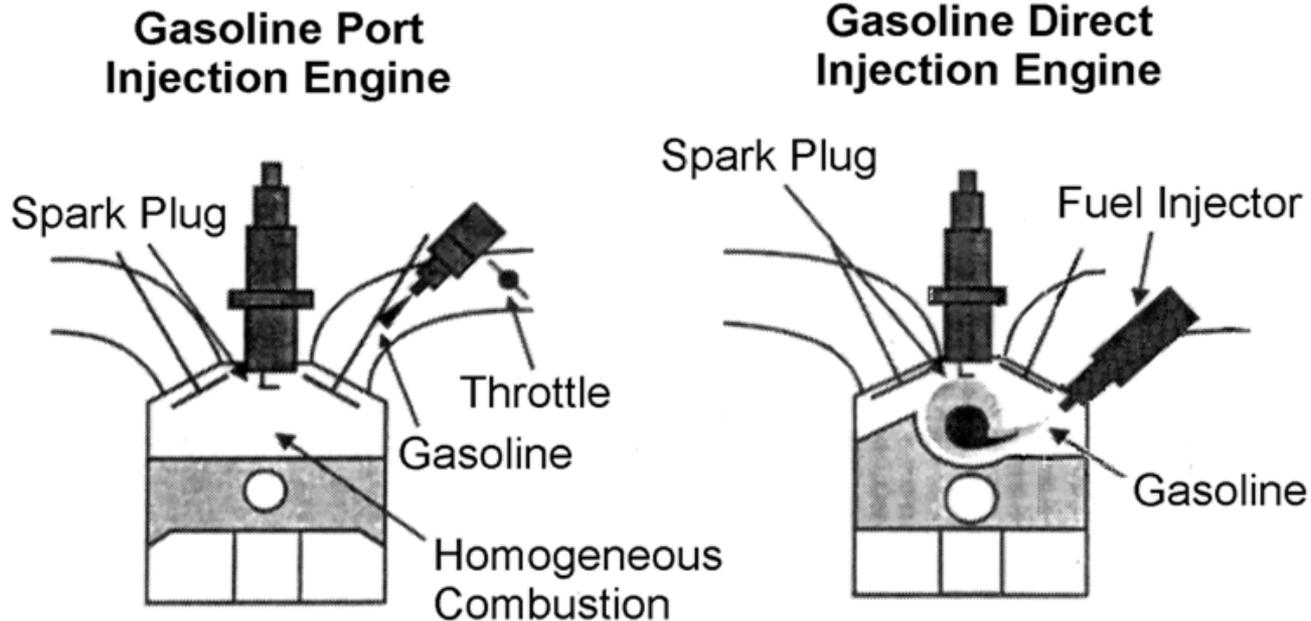
Efficienza di conversione dell'energia per differenti tecnologie



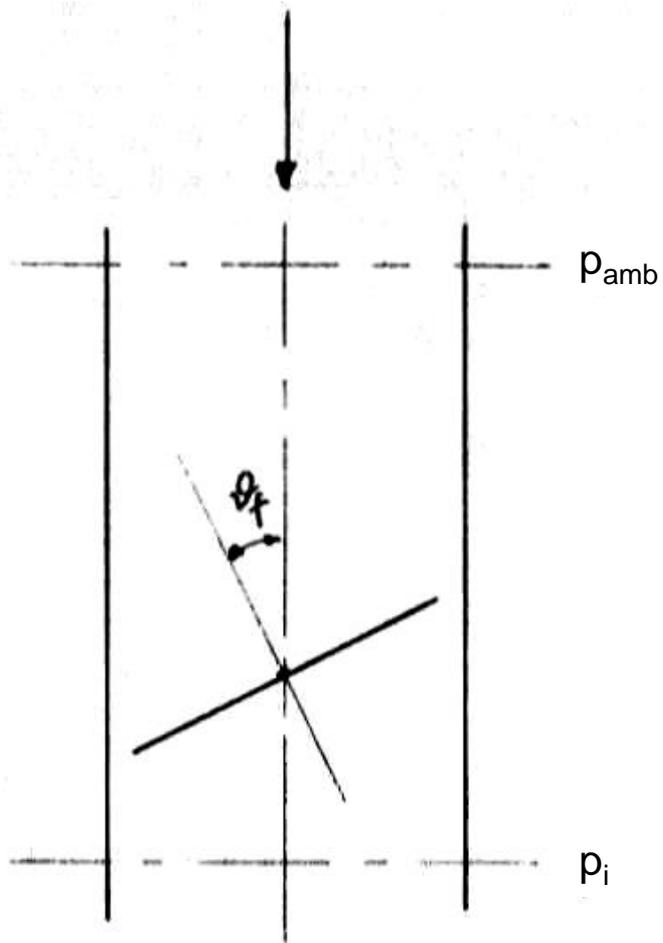
Fuel energy intensity: ciò che spendiamo, energia dal combustibile
 Vehicle energy intensity: ciò che otteniamo, spostamento del veicolo



Confronto modalità di iniezione della benzina

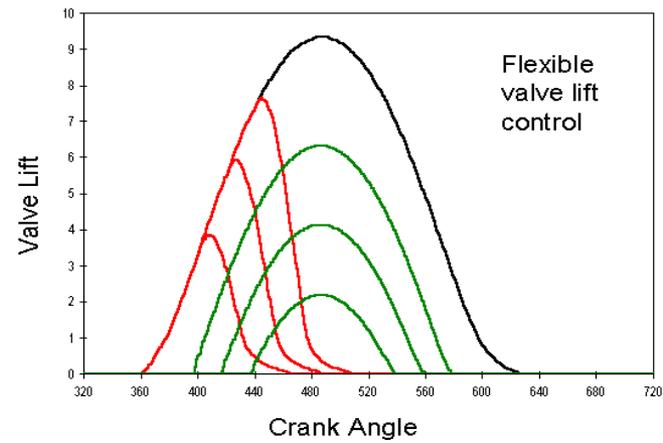
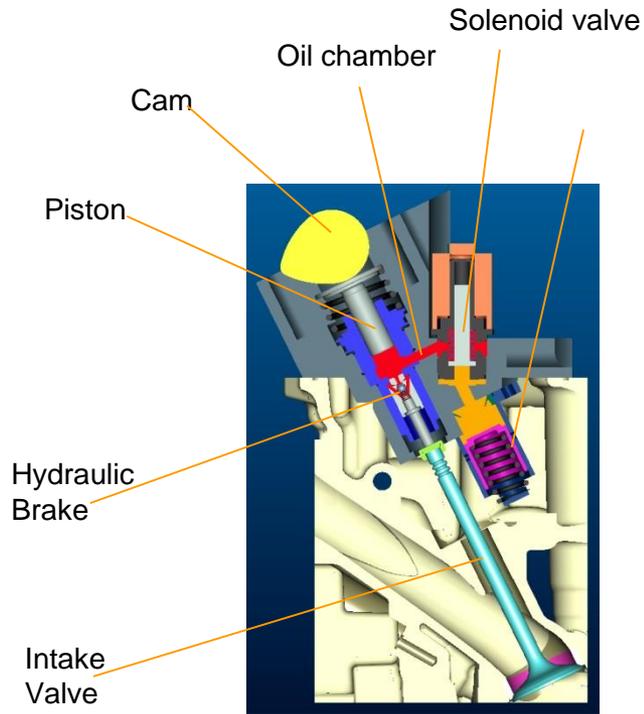


Homogeneous stoichiometric mixture
Lean stratified/homogeneous mixture

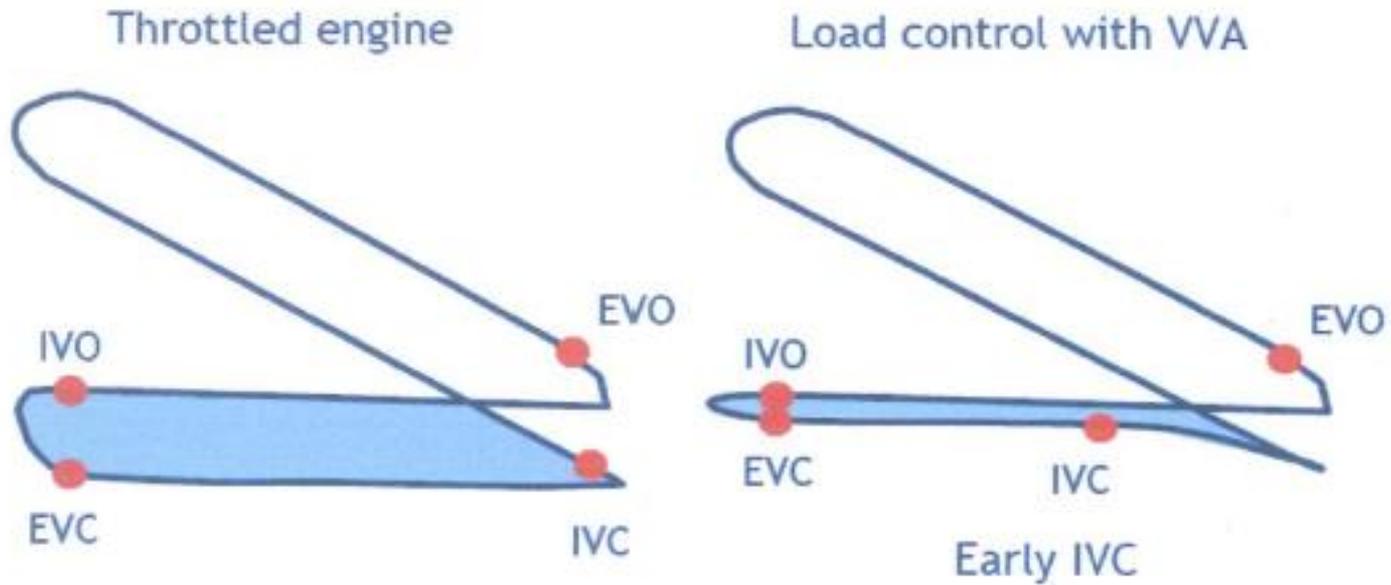


Valvola a farfalla per il controllo della potenza del motore (motori a benzina)

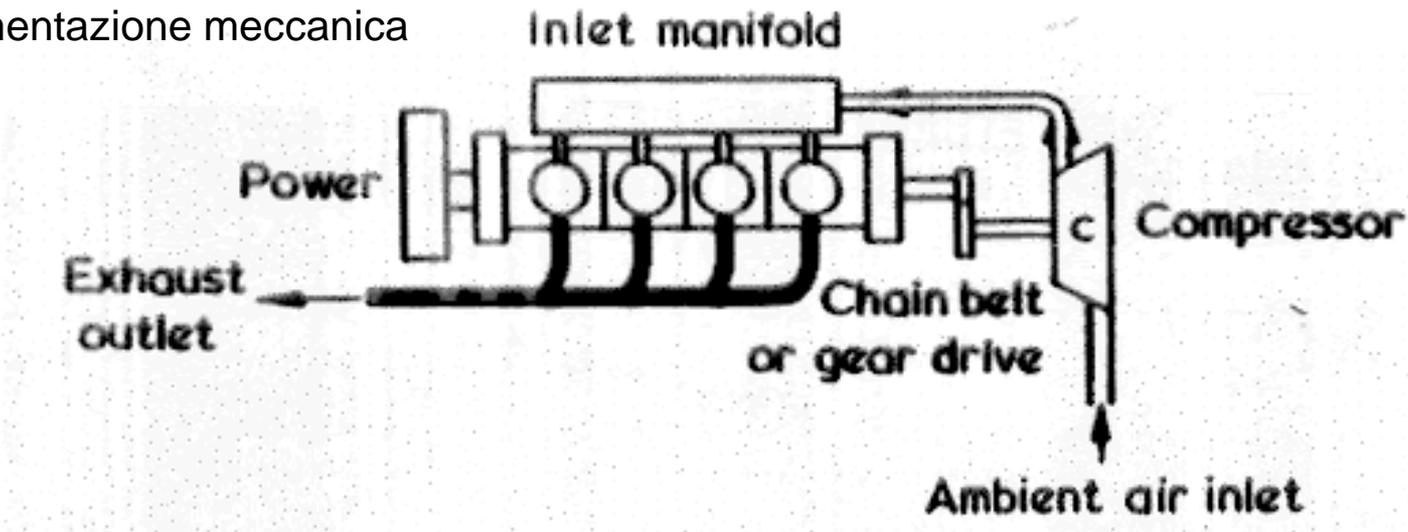
Sistema di controllo delle valvole di tipo VVA



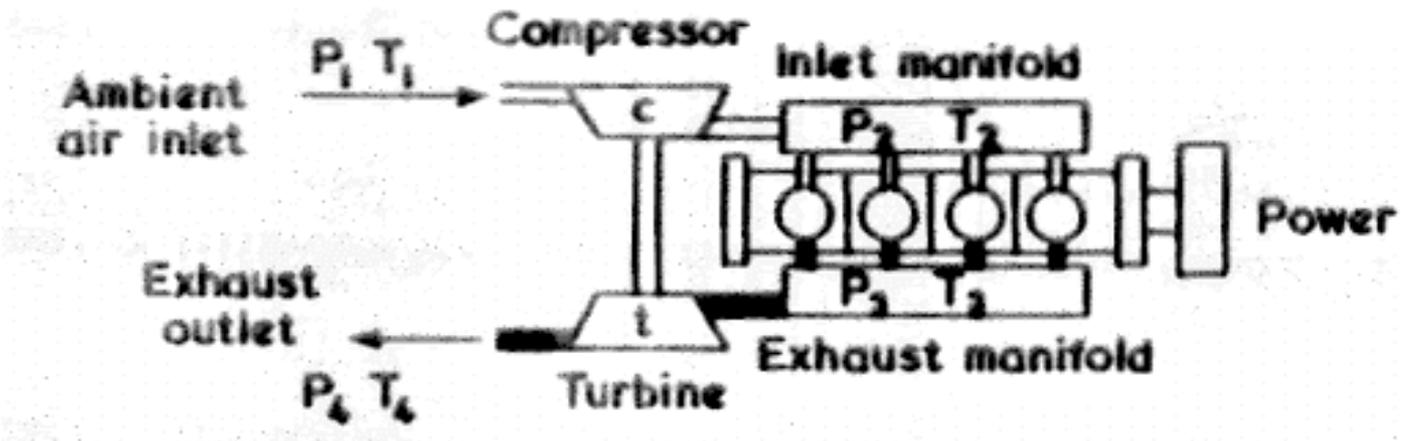
Sostituendo la valvola a farfalla con il sistema VVA, si eliminano le perdite di pompaggio



Sovralimentazione meccanica

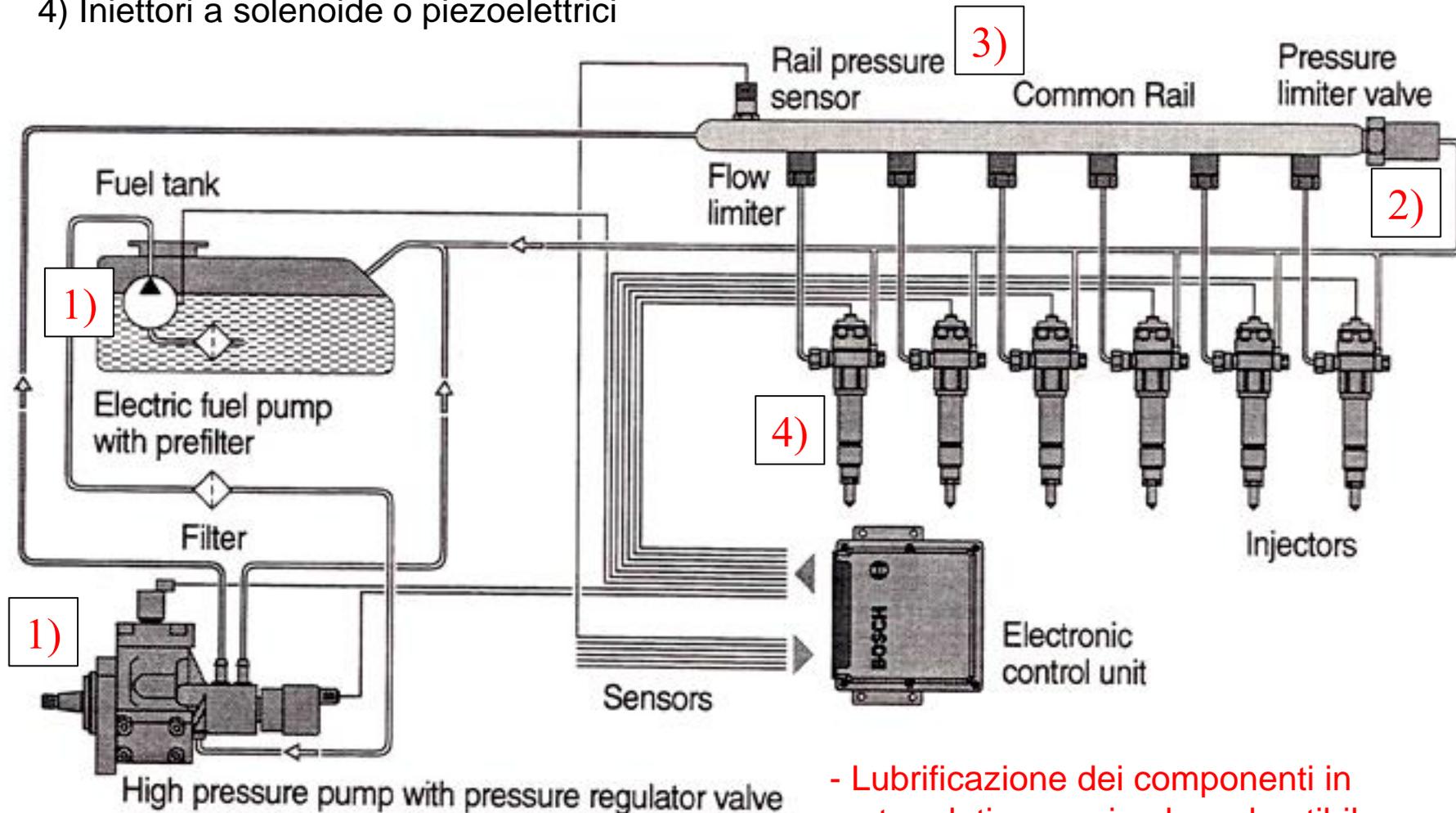


Sovralimentazione a gas di scarico



Sistema di iniezione del gasolio di tipo common rail

- 1) Pompe a bassa e alta pressione (3-pistoni radiali a 120°)
- 2) Valvola regolatrice di pressione
- 3) Sensore di pressione per controllo in loop chiuso della pressione di iniezione
- 4) Iniettori a solenoide o piezoelettrici



- Lubrificazione dei componenti in moto relativo grazie al combustibile
- Iniezioni multiple

Soluzioni tecniche per la riduzione delle emissioni inquinanti nei motori convenzionali



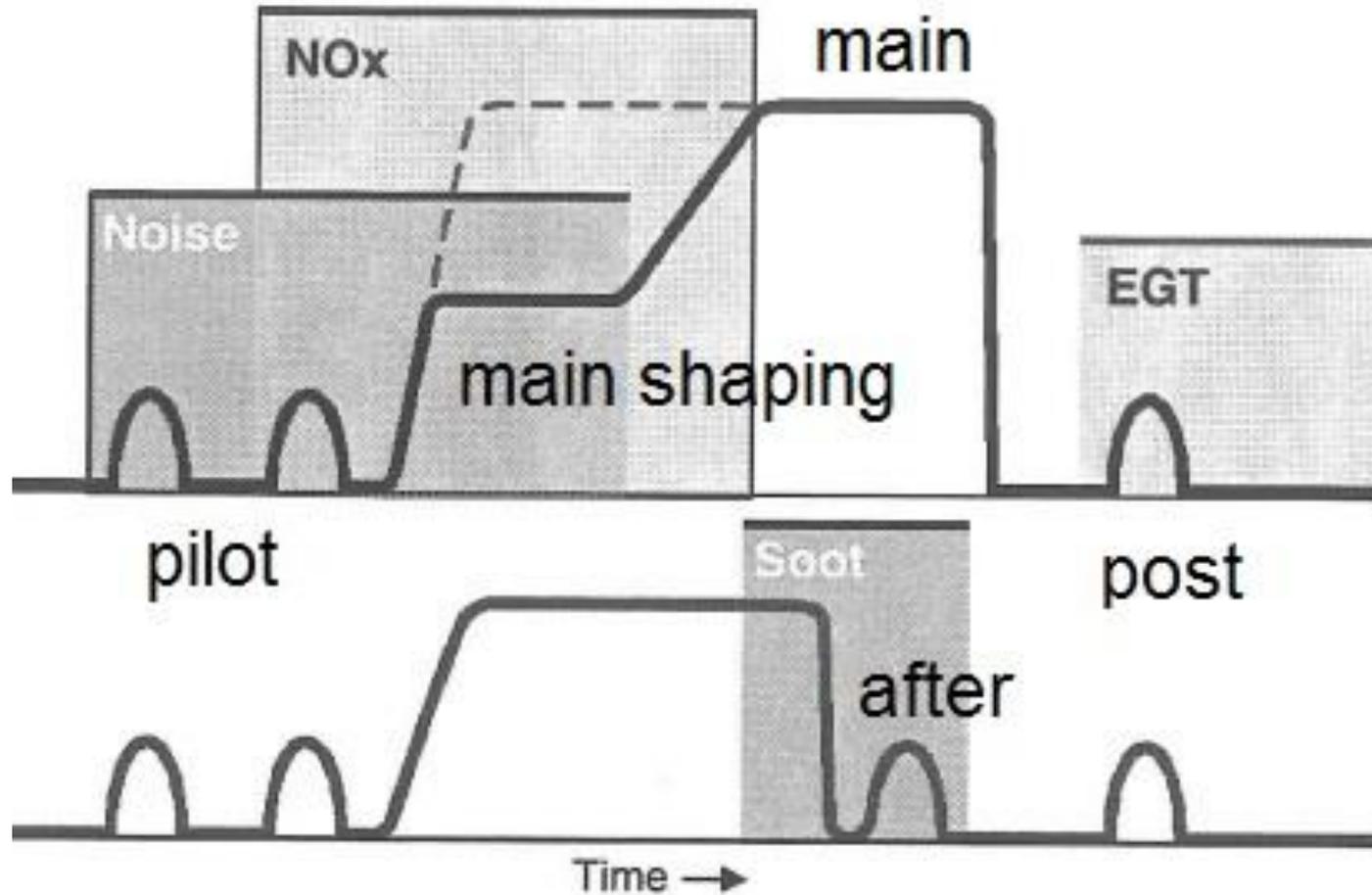
Iniezioni Multiple:

pilota → rumorosità di combustione

principale (main) → generazione di potenza, formazione NO_x

after → ossidazione di particelle carboniose (soot)

post → controllo temperatura gas di scarico (EGT = exhaust gas temperature)



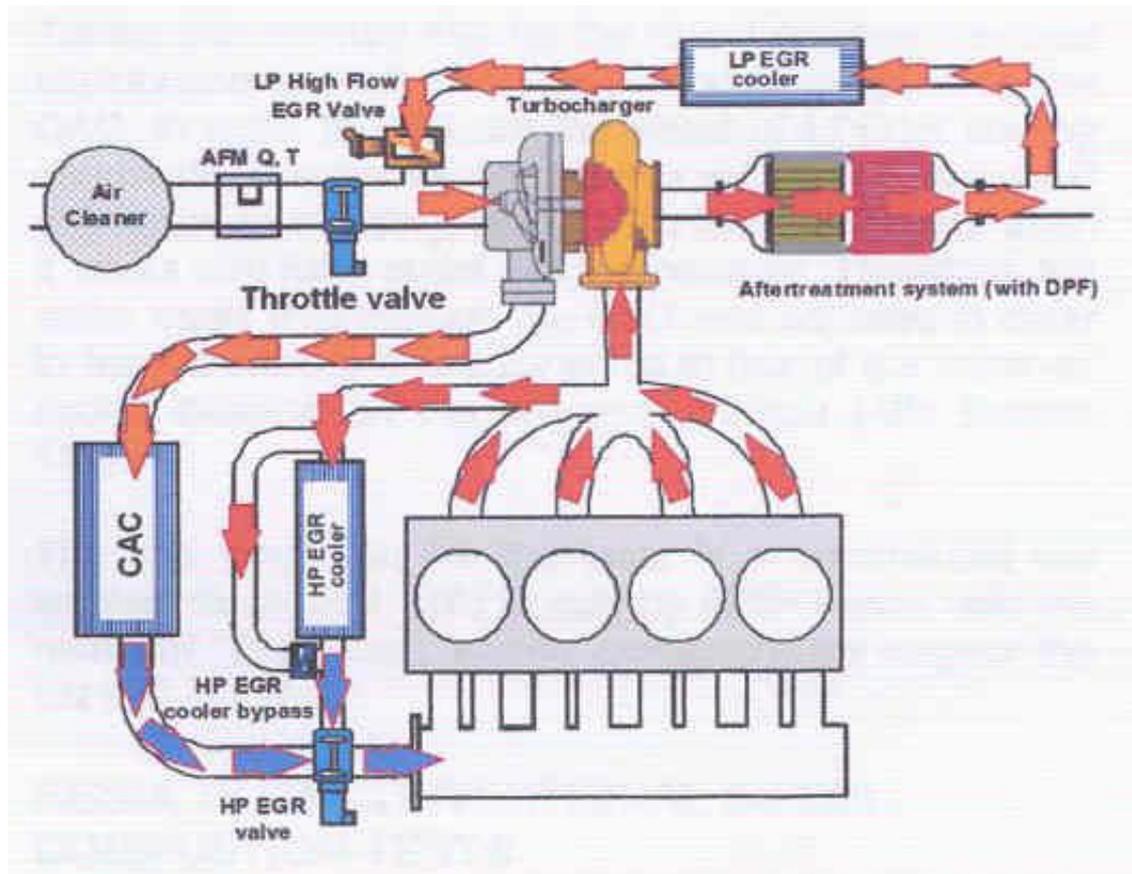
Sistemi e dispositivi esterni

EGR (= exhaust gas recirculation = ricircolo dei gas di scarico) → motori diesel

Reattori catalitici → motori a benzina, motori diesel

Filtri per particolato → motori diesel, motori a benzina a iniezione diretta



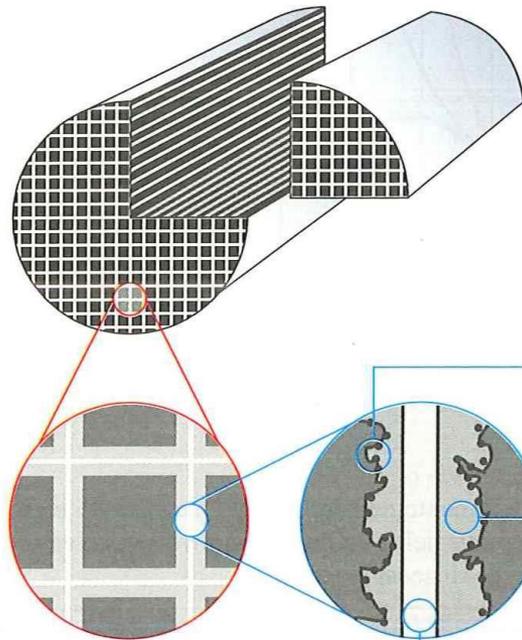


Schema di circuiti EGR ad alta (HP) e bassa (LP) pressione

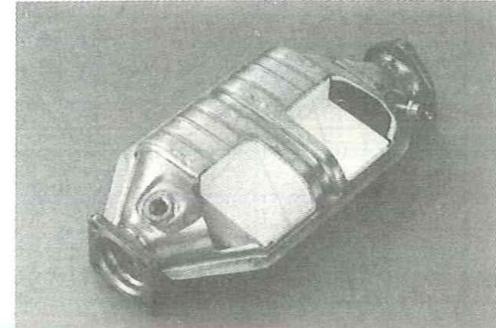
Reattori catalitici

- Ossidanti: per ossidare CO e HC e frazione organica del PM. Si utilizzano su:
 - Motori a benzina 2 e 4 tempi (moto e ciclomotori)
 - Motori diesel
- Riducenti (DeNO_x). Si utilizzano su:
 - Motori a miscela magra (diesel, a benzina iniezione diretta a carica stratificata)
- Trivalenti. Si utilizzano su:
 - Motori ad accensione comandata a carica omogenea stechiometrica





**Monolita
a nido d'ape**



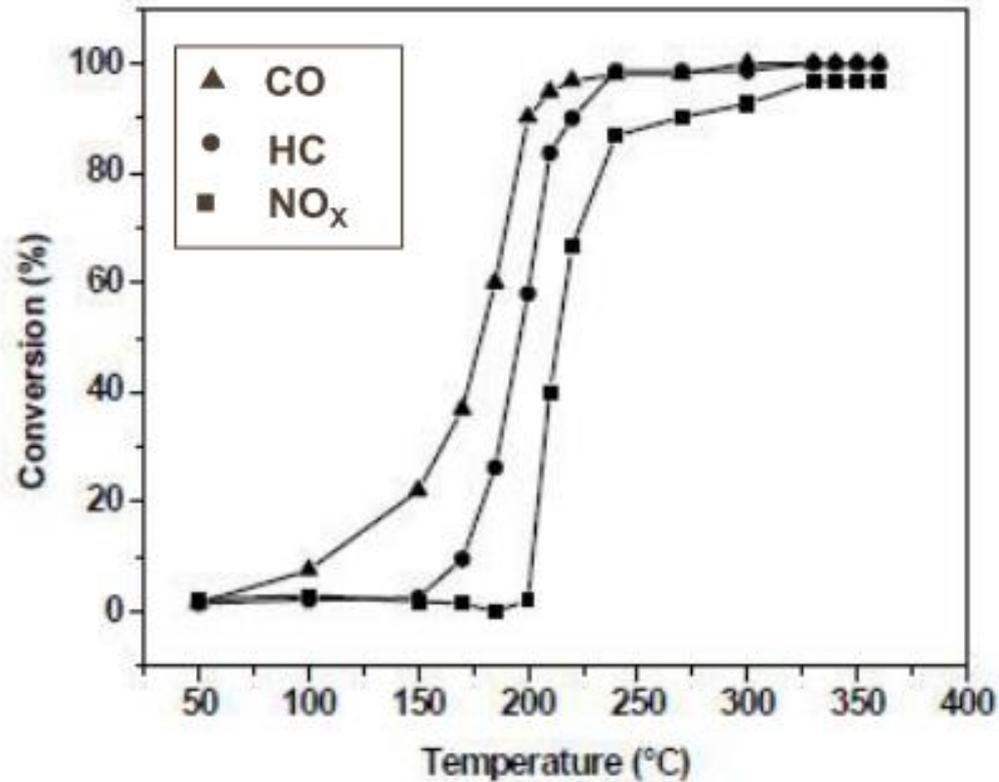
Catalizzatore

Principio catalitico
(metalli nobili, ossidi di metalli di trans., ecc.)

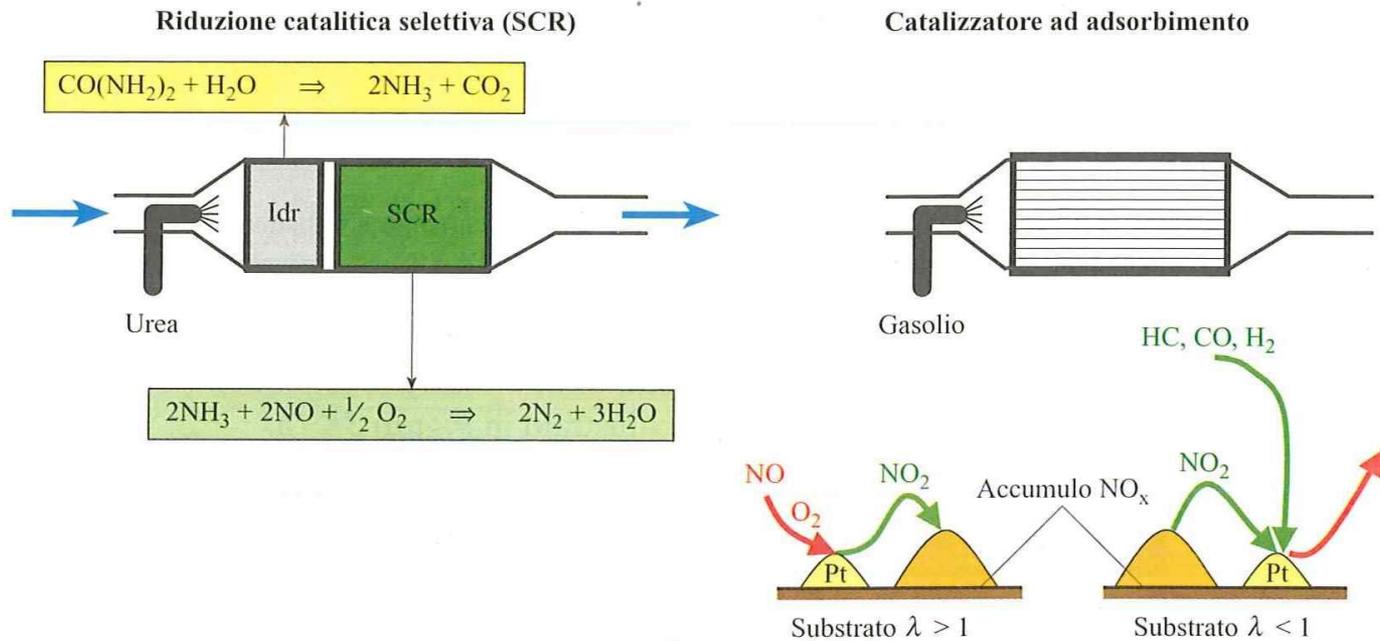
Supporto ad alta superficie specifica
o "carrier" ($\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , zeoliti, TiO_2 , ecc.)

Supporto strutturato
(cordierite, SiC, FeCrAlloy, tialite, mullite, ecc.)

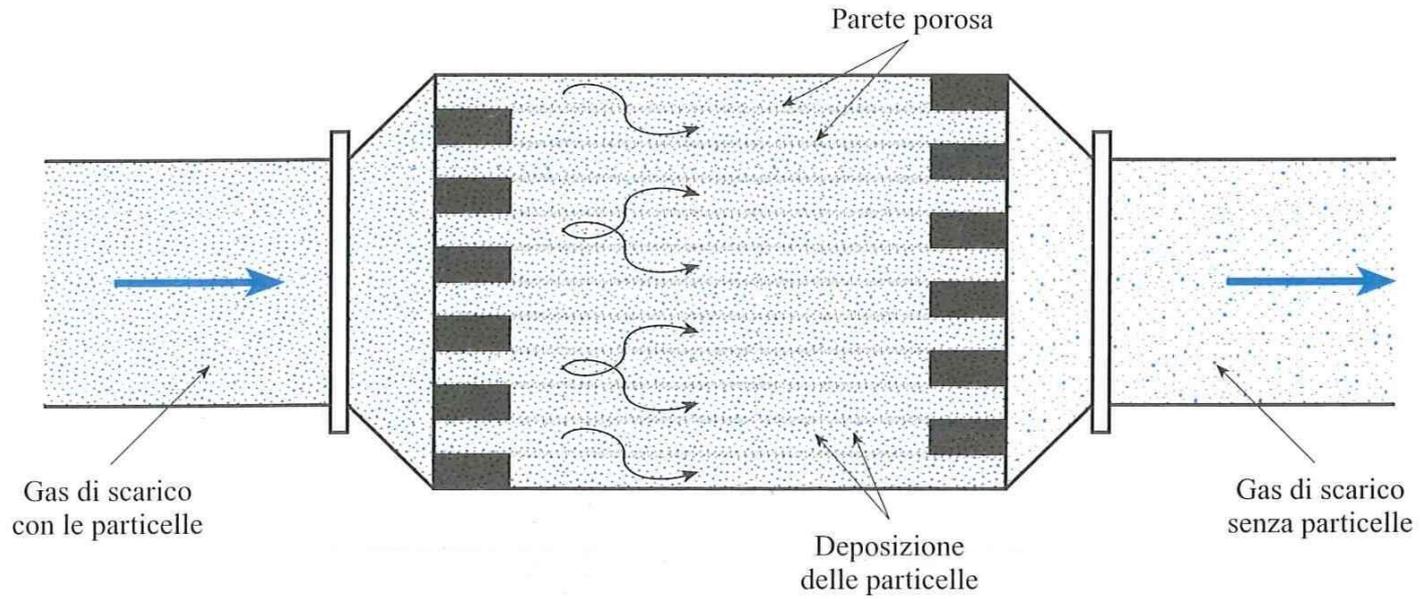
Struttura di un reattore catalitico



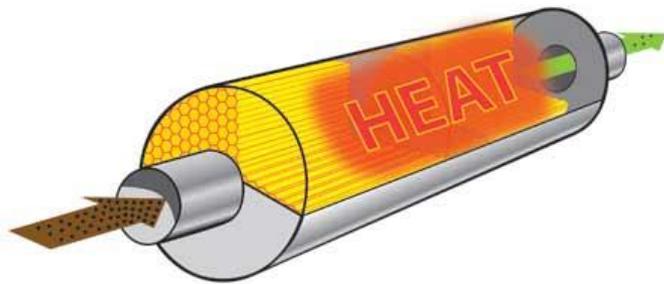
Effetto della temperatura sull'efficienza di conversione del catalizzatore (trivalente)



Schema del principio di funzionamento di catalizzatori deNO_x



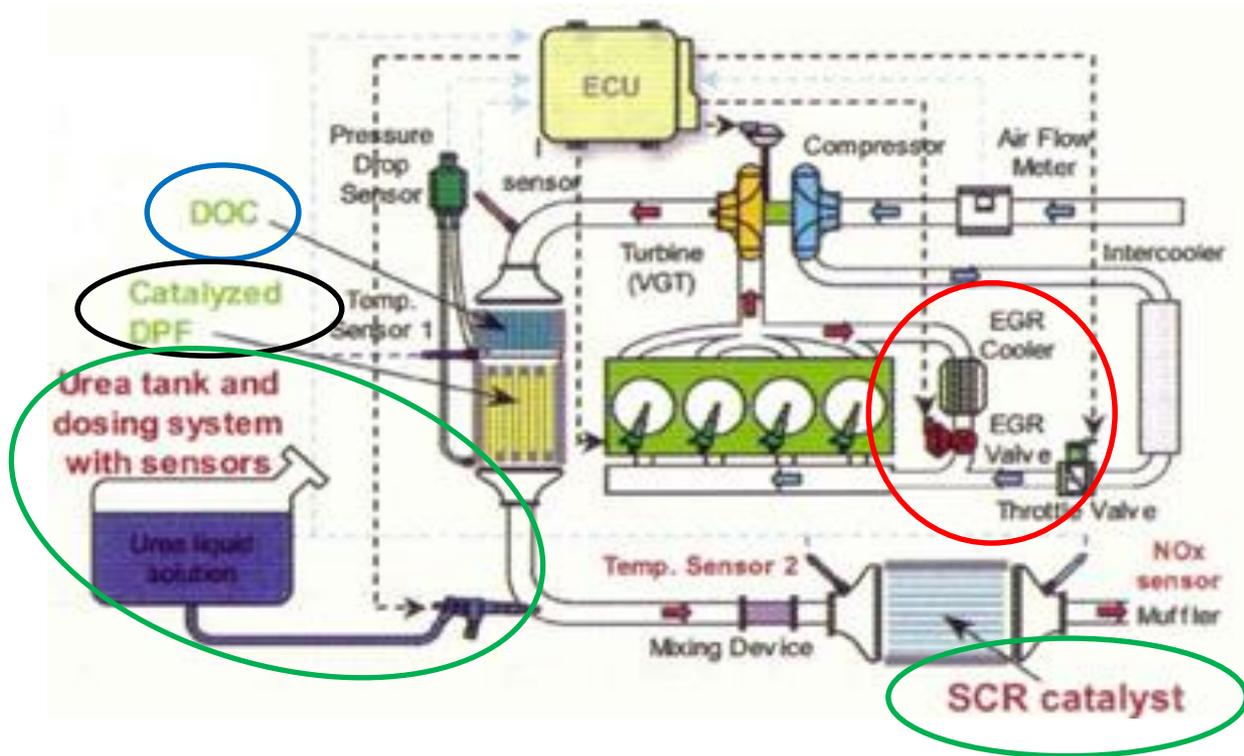
Schema di funzionamento di un filtro per il particolato



Periodicamente, il filtro deve essere rigenerato, bruciando le particelle depositate

La combustione del carbonio si innesca in condizioni normali a 600 °C

I motori diesel sono diventati sistemi particolarmente complessi

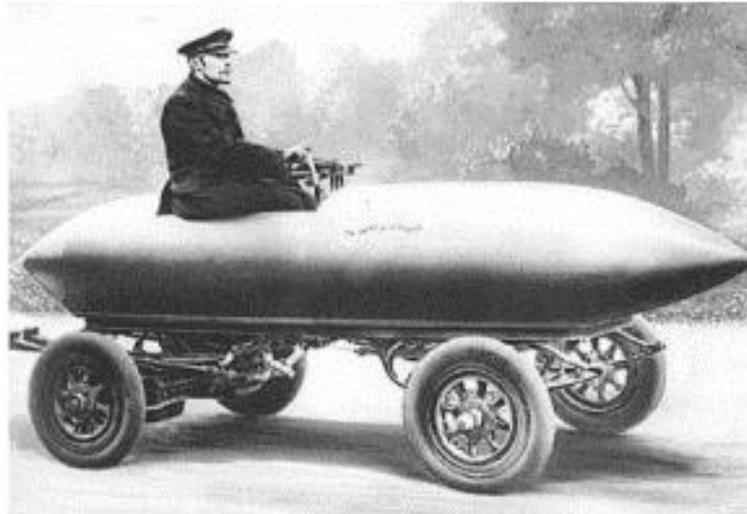


Veicoli elettrici

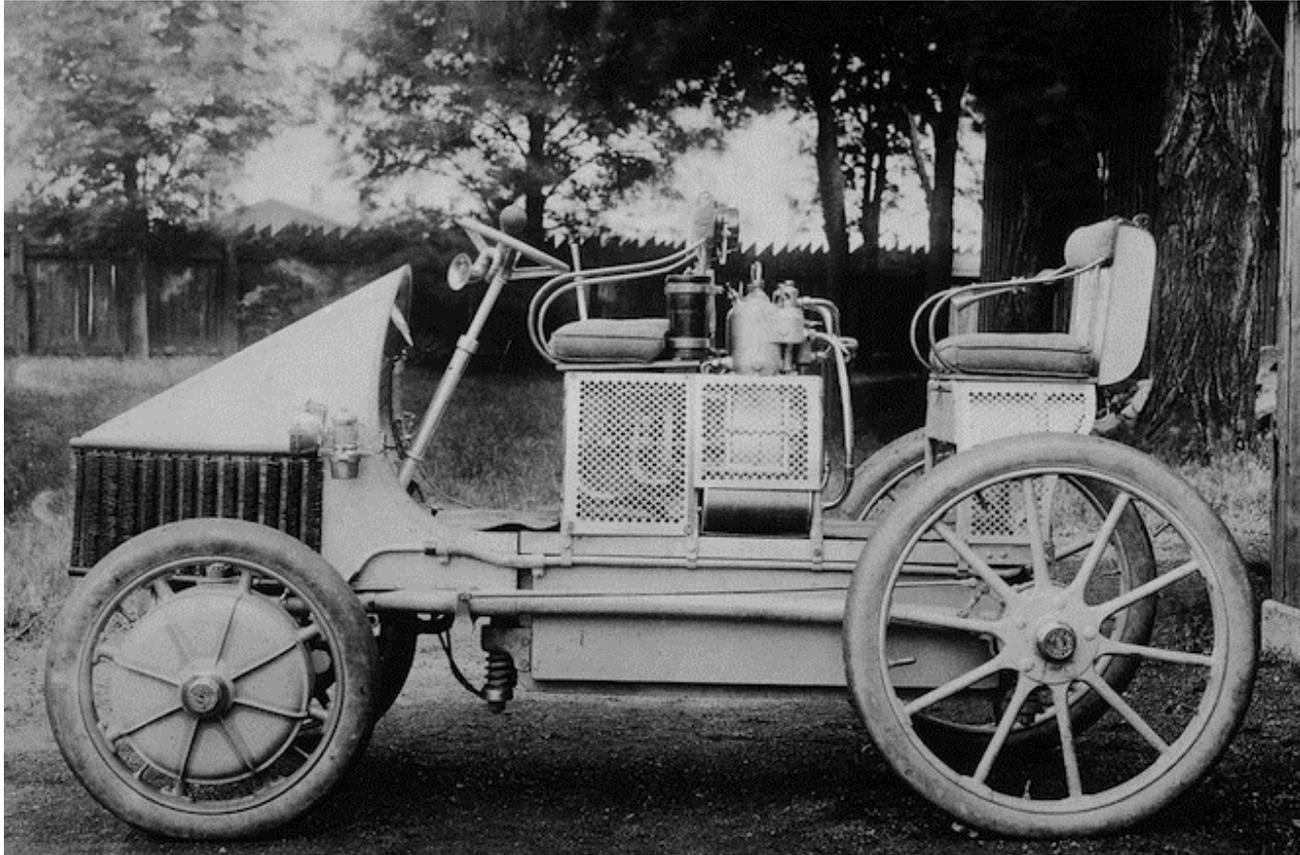


Il primo veicolo a raggiungere la velocità di 100 km/h fu un veicolo elettrico

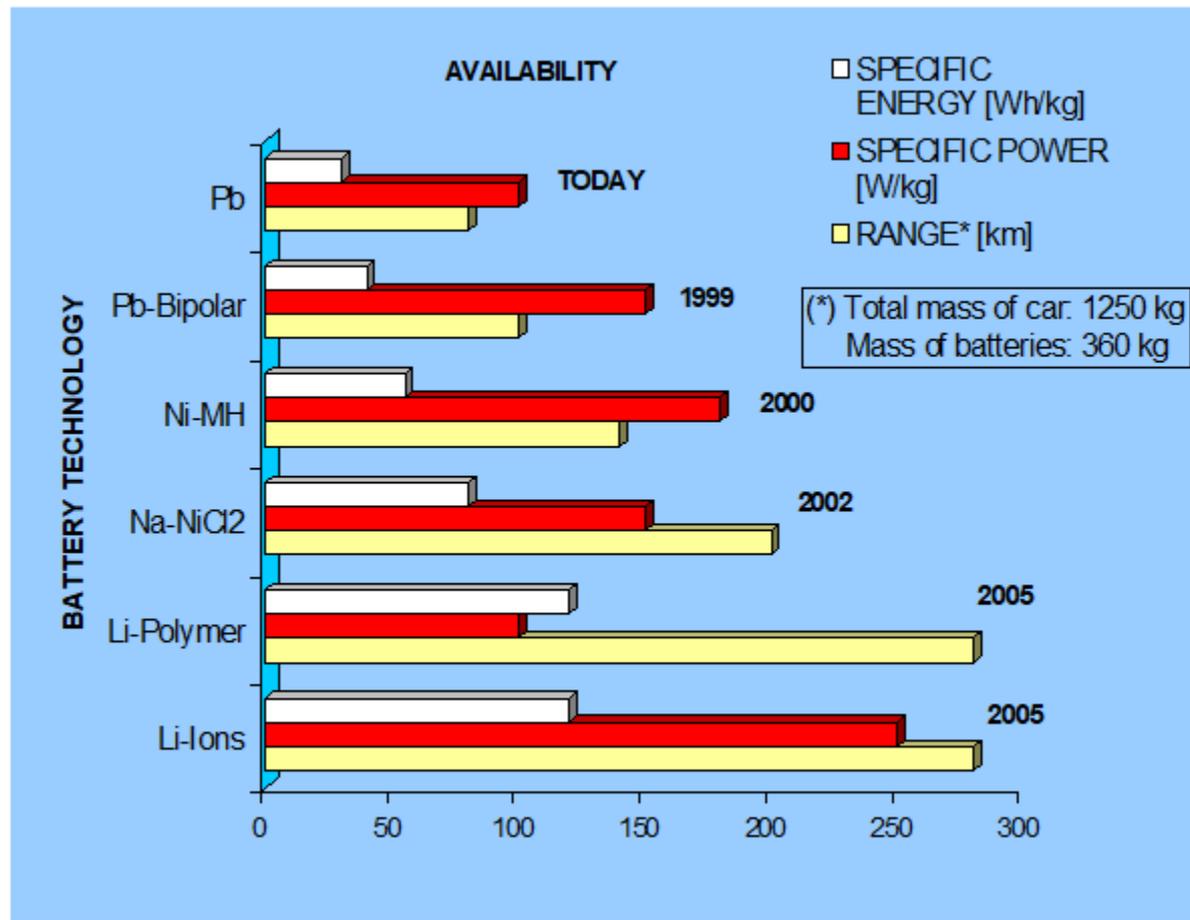
"Jamais contente" of Camille Jenatzy (1899)



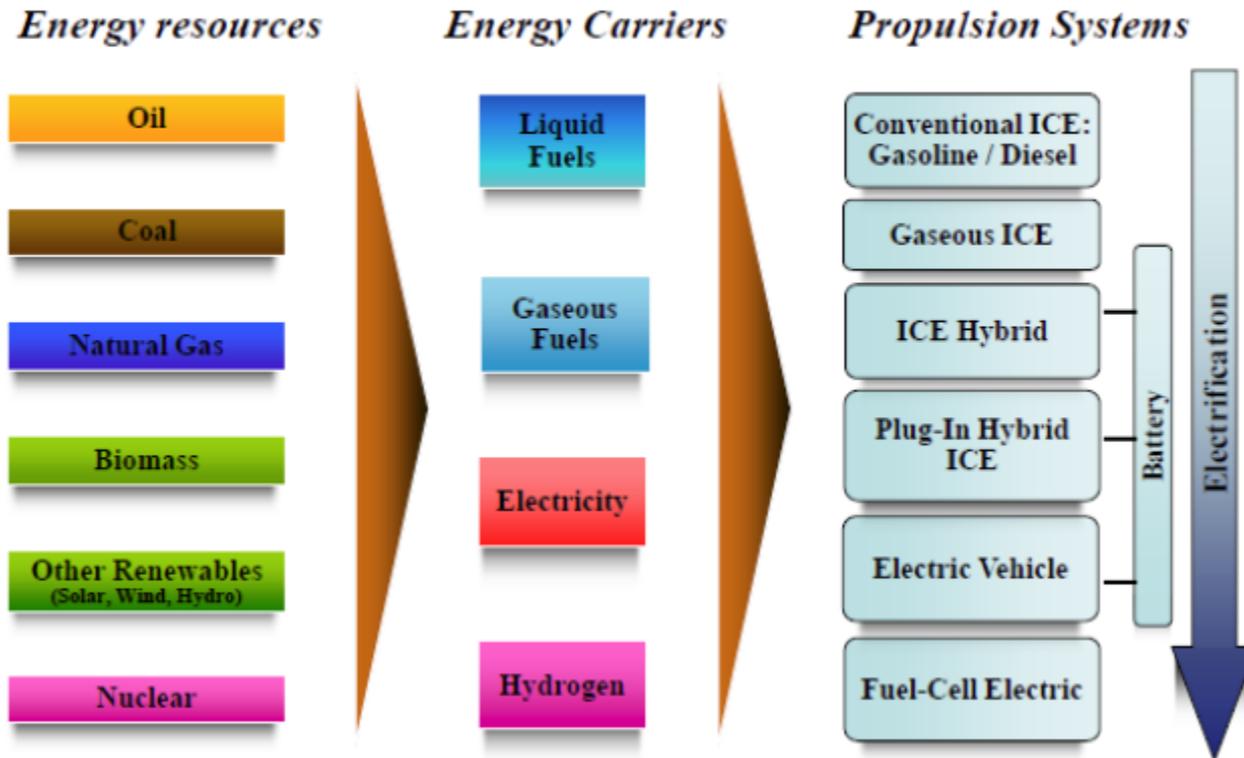
Ferdinand Porsche realizzò auto elettriche e ibride, con motori elettrici nei mozzi delle ruote anteriori e motori a benzina, tra il 1900 e il 1901, quando lavorava per la Lohner. Problema principale: peso delle batterie.



Il California Air Resources Board (CARB) adottò il primo regolamento per veicoli a zero emissioni nel 1990, come parte del regolamento sui veicoli a basse emissioni.

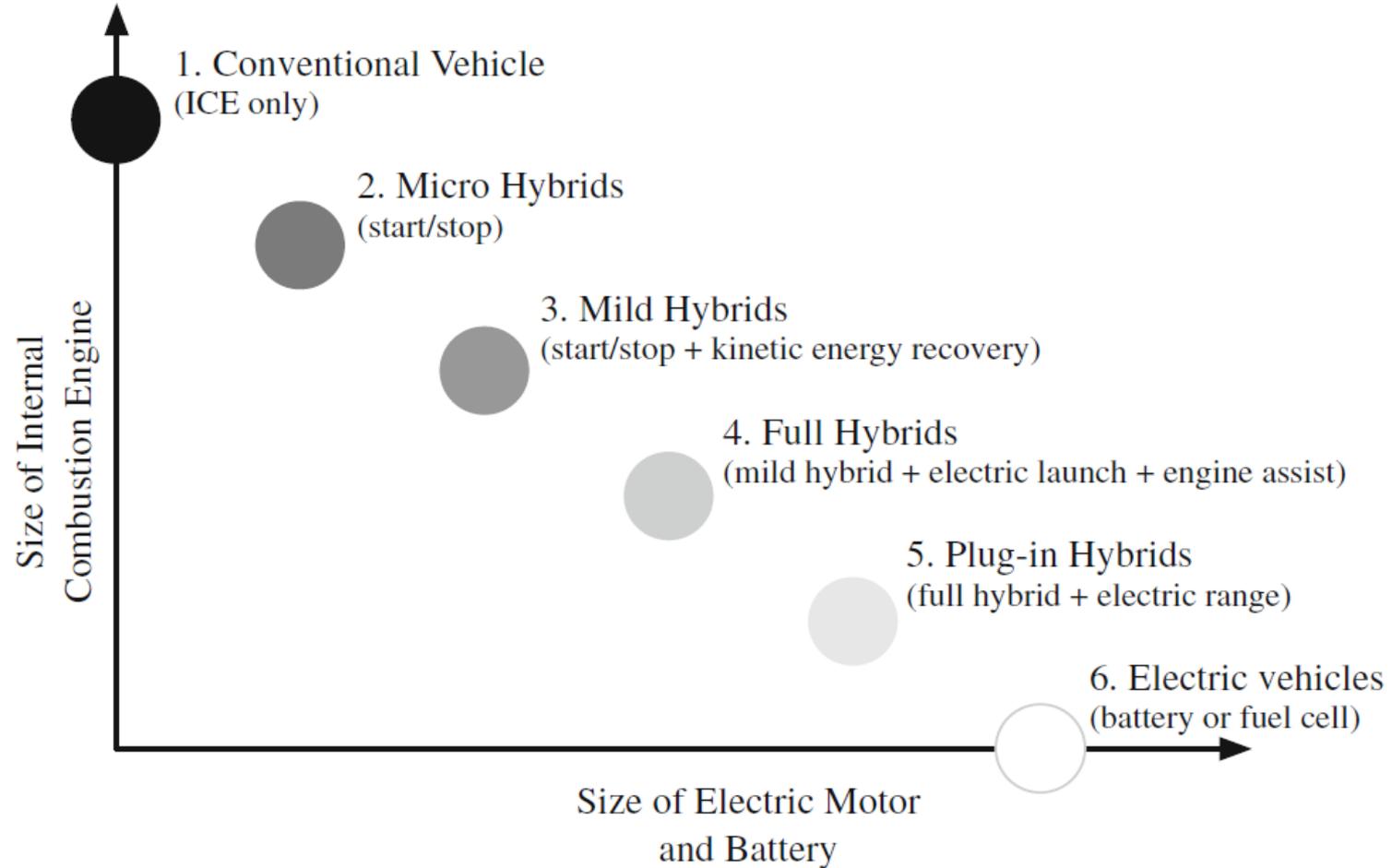


Energy Resources: the propulsion options



Classificazione dei veicoli

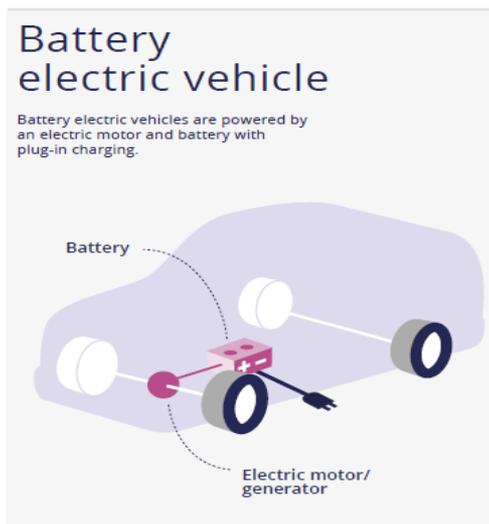
La classificazione dei veicoli disponibili sul mercato può essere basata sulle dimensioni del motore termico e del motore elettrico/pacco batterie, evidenziando livelli crescenti di elettrificazione



Veicoli elettrici

I veicoli elettrici sono mossi solo da un motore elettrico, a sua volta alimentato dall'energia immagazzinata nella batteria installata a bordo. La batteria viene ricaricata collegandola alla rete di distribuzione dell'elettricità.

Adatti in particolare per la modalità di guida urbana, per limiti di autonomia (attualmente tra 90 e 520 km, con valore tipico intorno a 170 km) e per il profilo di missione caratterizzato da accelerazioni (richiesta di energia) e decelerazioni (ricupero di energia mediante frenata rigenerativa, che converte in elettricità buona parte dell'energia cinetica del veicolo, normalmente dissipata in calore nei freni).



Veicoli elettrici

Vantaggi

- Maggiore efficienza
- Zero emissioni allo scarico locali (per le emissioni globali, il bilancio dipende dalla modalità di produzione dell'energia elettrica, quindi impulso alle fonti rinnovabili)
- Sistema di frenata rigenerativo
- Minori emissioni acustiche (ma rischio per pedoni)
- Minori costi di esercizio (non dovendo sostituire le batterie)

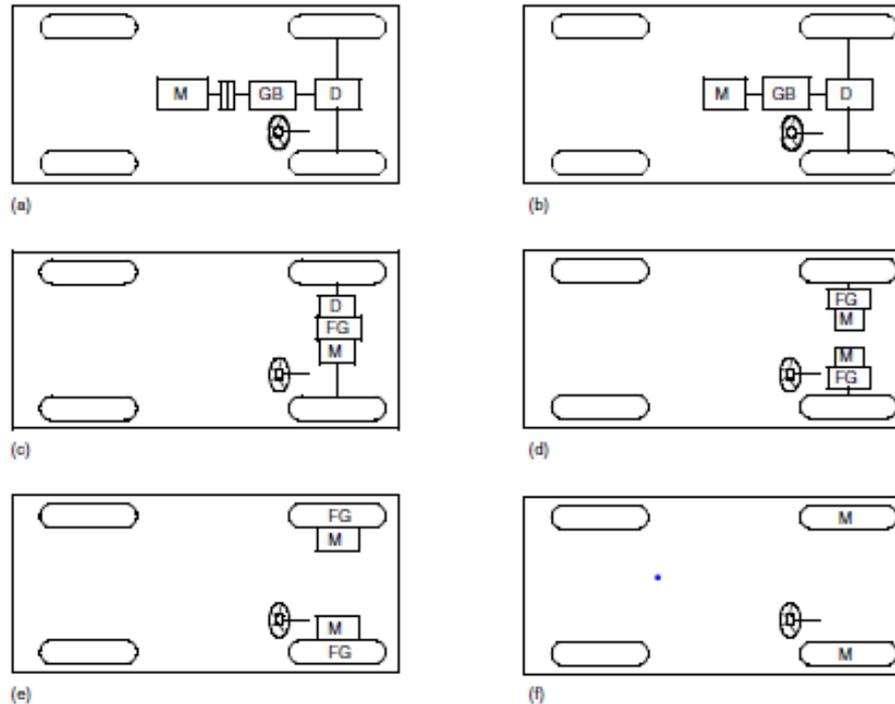
Svantaggi

- Lunghi tempi di ricarica delle batterie, in funzione del tipo di stazione utilizzata (220 V → 20 ore, 400 V → 0,5 ore, valori tipici: 4-8 ore)
- Pacco batterie di grandi dimensioni, per aumentare l'autonomia → costi e peso elevati. Capacità delle batterie tra 7 e 85 kWh, valore tipico: 22 kWh
- Numero di stazioni di ricarica ancora limitato → necessità di sviluppo dell'infrastruttura
- Gestione del servizio di ricarica
- Produzione e fine vita delle batterie
- Costo iniziale del veicolo: mediamente 30.000 Euro nel 2015
- Problemi di sicurezza: surriscaldamento batterie (soprattutto in ricarica), coppia elevata all'avviamento



Veicoli elettrici – sviluppo degli schemi costruttivi

Primi schemi derivati dai veicoli convenzionali, per minimizzare le variazioni. Schemi attuali: d), e), f). Riduzione dei componenti per minore peso e costi



C: Clutch
D: Differential
FG: Fixed gearing
GB: Gearbox
M: Electric motor

Veicoli elettrici

NISSA:
NISSAN LEAF



Type: Compact car	Drive: Front-wheel	Top speed: 145 km/h (90 mph)
Production: Series	Motor: Synchronous AC	Battery: Li-ion
Length: 4.445 m (175 in)	Distance between wheels: 2.7 m (106.23 in)	Torque: 280 Nm
Width: 1.770 m (72.2 in)	Base curb weight: 1,525 kg (3,362.1 lb)	Charging (time): 110 V/220 V—0.5 h/8 h
Height: 1.409 m (69.69 in)	Motor weight: 130 kg (280 lb)	Battery weight: 300 kg (660 lb)
	Battery capacity: 24 kWh	Electric range: 121 km (75 mi)

RENAULT:
RENAULT TWIZY URBAN
45 Z.E.



Type: Microcar	Drive: Rear-wheel	Top speed: 50 km/h (31 mph)
Production: Series	Motor: Synchronous AC	Battery: Li-ion
Length: 2.337 m (92,2 in)	Distance between wheels: 1.7 m (66.5 in)	Torque: 57 Nm
Width: 1.191 m (47.3 in)	Base curb weight: 350 kg (772 lb)	Charging (time): 220 V—3.5 h
Height: 1.461 m (57.5 in)	Motor weight: 130 kg (280 lb)	Battery weight: 100 kg (220.5 lb)
	Battery capacity: 6.1 kWh	Electric range: 80 km (50 mi)

TESLA:
MODEL S



Type: Full-size Luxury	Drive: Rear-wheel	Top speed: 201 km/h (125 mph)
Production: Series	Motor: Three phase, four pole AC induction motor with copper rotor	Battery: Li-ion
Length: 4.976 m (196.1 in)	Distance between wheels: 2.96 m (116.54 in)	Torque: 600 Nm
Width: 1.963 m (77.2 in)	Base curb weight: 2,108 kg (4,643 lb)	Charging (time): 110 V/220 V—0.5 h/4 h
Height: 1.435 m (59.7 in)	Motor weight: 130 kg (280 lb)	Battery weight: 1200 kg (2646 lb)
	Battery capacity: 85 kWh	Electric range: 120 km (75 mi)

RENAULT:
RENAULT ZOE



Type: Supermini	Drive: Front-wheel	Top speed: 140 km/h (87 mph)
Production: Series	Motor: Synchronous AC	Battery: Li-ion
Length: 4.086 m (160.87 in)	Distance between wheels: 2.59 m (101.96 in)	Torque: 222 Nm
Width: 1.788 m (70.47 in)	Base curb weight: 1,392 kg (3,068 lb)	Charging (time): 220/400 V—0.5–6/8 h
Height: 1.540 m (60.63 in)	Motor weight: n.a.	Battery weight: 290 kg (640 lb)
	Battery capacity: 22 kWh	Electric range: 200 km (15 mi)

Batterie – tipi

Per applicazioni veicolistiche: Nickel metal idruri (NiMH) e Li-ion.

Le batterie Li-ion immagazzinano più energia, ma presentano maggiori problemi (costi, sicurezza, disponibilità delle materie prime, impatto ambientale, intervallo operativo di temperature, tra 0 e 45 °C)

Battery	Anode	Cathode	Electrolyte	Voltage [V]	Specific Energy [Wh/kg]	Specific Power [W/kg]	Life [cycles]	Cost (ratio)
lead-acid	Pb	PbO ₂	H ₂ SO ₄	2	<40	>250	600	1
nickel-metal hydride	metal hydride	Ni(OH) ₂	KOH	1,2	60	200÷1200	1500	3÷4
lithium-ion	carbon	Li oxide	lithiated solution	3,6	100÷150	500÷1800	1200	>5
lithium-metal-polymer	Li	plastic composite	solid polymer	3,7	120	320	n.a.	n.a.
sodium-nickel chloride	Na	NiCl ₂	Al ₂ O ₃	2,58	110	170	1000	3
lithium-air	Li	O ₂	organic solution	3,4	>1000	n.a.	n.a.	n.a.



Infrastruttura di ricarica

Tre modalità di ricarica delle batterie:

- **Plug-in charging**, più utilizzata. Il veicolo è fisicamente collegato ad un punto di ricarica utilizzando un cavo e un connettore.
- **Battery swapping**, è la sostituzione di una batteria scarica con una carica, presso un'apposita stazione.
- **Wireless charging**, ricarica ad induzione, senza collegamento fisico tra il sistema di distribuzione e il veicolo.



Plug-in charging

- **Modo 1 (ricarica lenta):** connessione alla rete domestica
- **Modo 2 (ricarica lenta o semi-veloce):** si utilizza un cavo fornito dal costruttore
- **Modo 3 (ricarica semi-veloce o veloce):** cavo, connettore e circuito di ricarica dedicati, per aumentare la potenza scambiata
- **Modo 4 (ricarica veloce):** fornisce corrente continua alle batterie, aumentando il livello di potenza

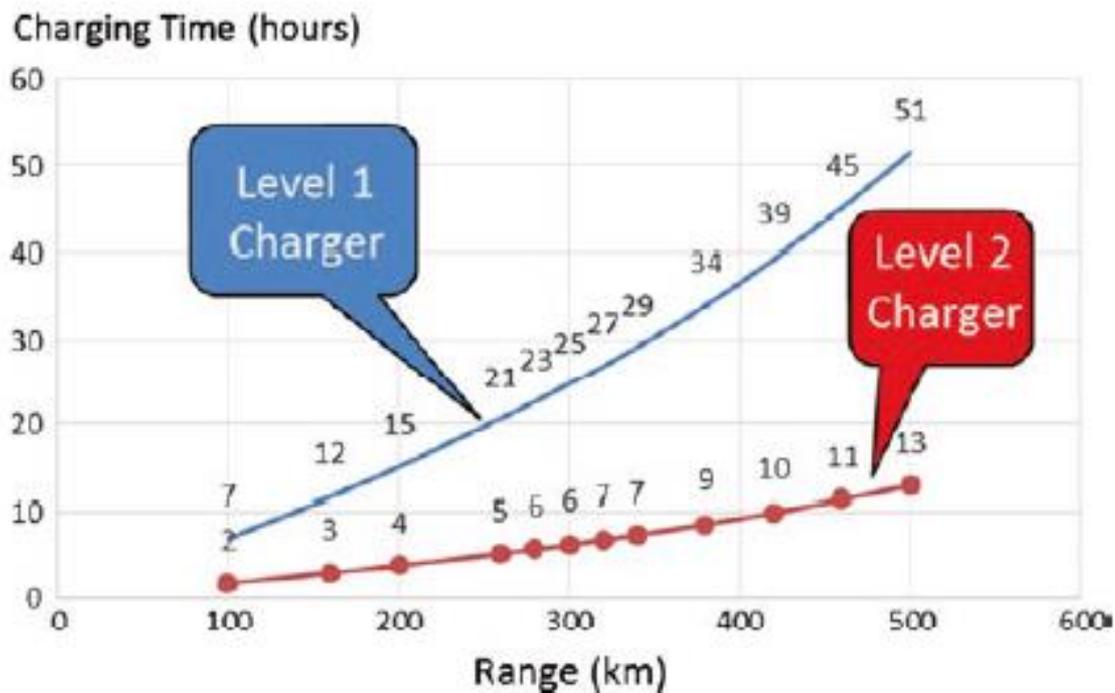
Nella figura, i tempi si riferiscono alla ricarica della quantità di energia necessaria a percorrere 100 km



Potenza normalmente disponibile da un contatore per utenze domestiche

Problematiche relative alla ricarica

Il tempo richiesto per “rifornire” un veicolo è una caratteristica importante per l'utente. Lunghi rifornimenti possono limitare il gradimento di un veicolo alternativo (vedi anche gas naturale)



Efficienza: confronto tra veicolo convenzionale ed elettrico

Catena dei rendimenti

Veicolo convenzionale:

Raffineria = 90%

Distribuzione dei combustibili = 98%

Rendimento medio del motore = 20 – 22%

Efficienza complessiva = 17 – 19%

Veicolo elettrico:

Rendimento medio degli impianti per la produzione di energia = 46%*

Efficienza rete di distribuzione = 92%

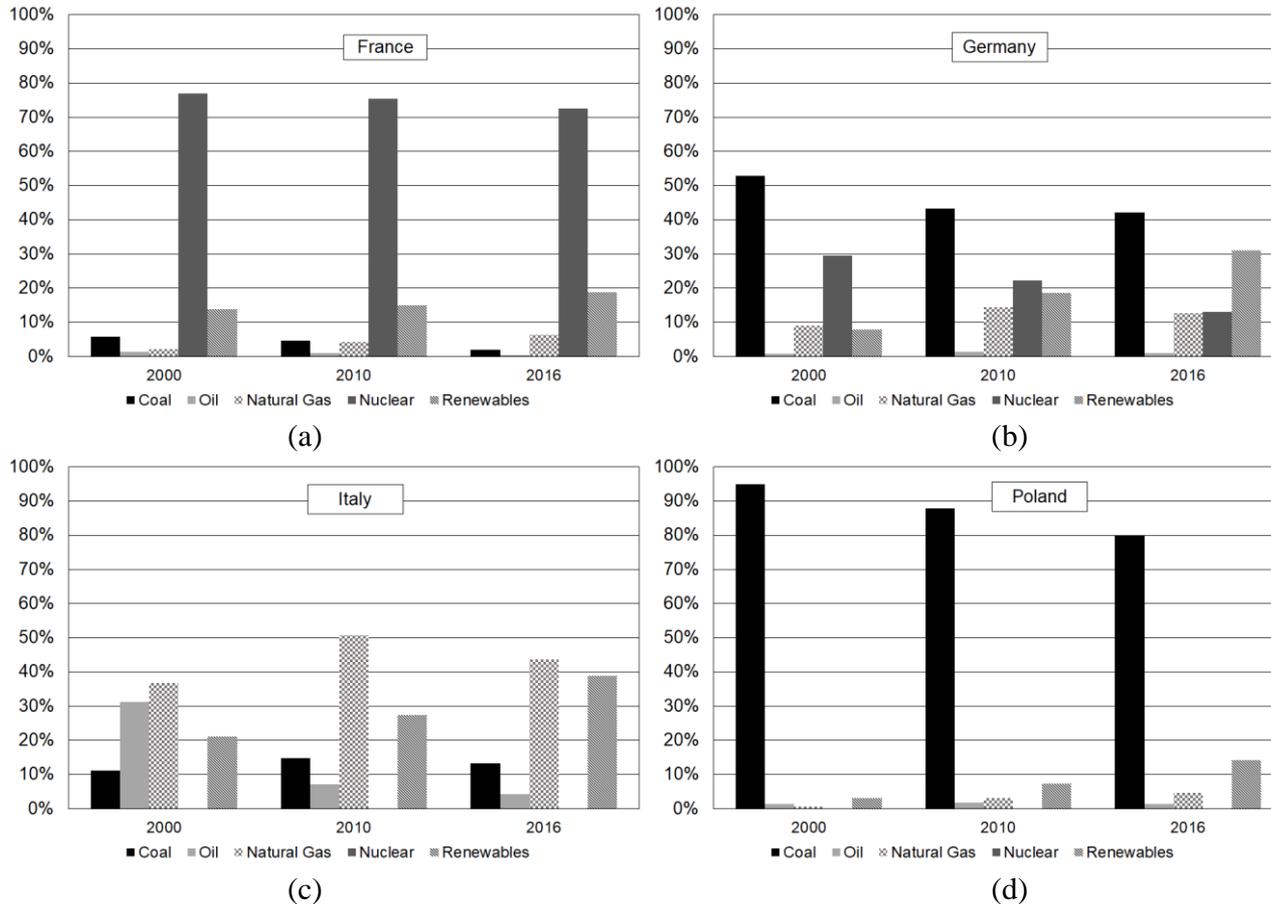
Rendimento del sistema di propulsione = 80%

Efficienza complessiva = 34%

* Valore riferito al sistema energetico italiano, anno 2016. Se il rendimento medio scende al 40% (Germania, Polonia, anno 2016), l'efficienza complessiva del veicolo elettrico è del 29%



Emissioni globali: i veicoli elettrici consentono di ridurre la CO₂ solo se il sistema di produzione nazionale dell'elettricità ha un mix adeguato

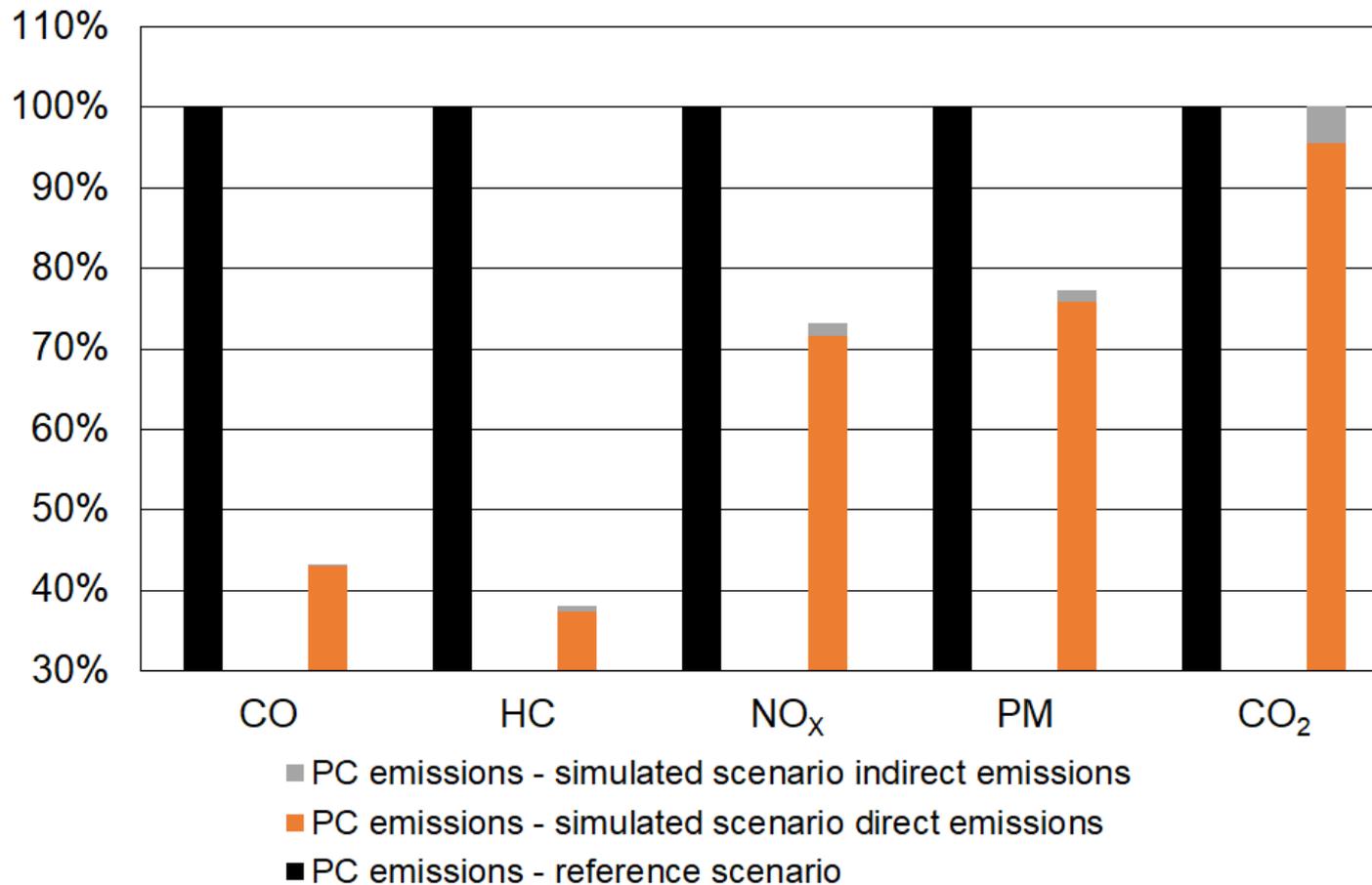


Osservazioni (entrambe dalla Germania): il mix nazionale non è rappresentativo, se la richiesta di energia elettrica aumenta, aumenterà l'utilizzo delle fonti convenzionali.

Chi compra un'auto elettrica, può anche installare un sistema domestico di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (solare)

Ipotesi:

1. auto circolanti a Genova
2. sostituzione delle auto a benzina e diesel più vecchie (da Euro 0 a Euro 3) con auto elettriche e ibride (complessivamente 15% del parco auto)
3. mix produttivo elettricità Italia 2016



Veicoli ibridi



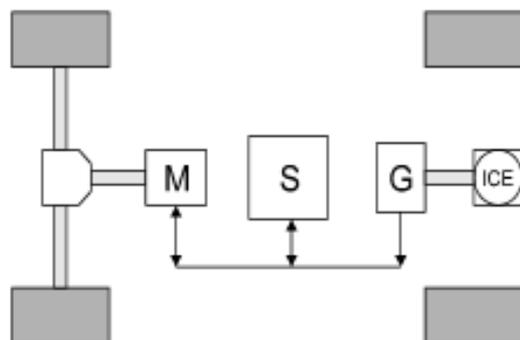
Veicoli ibridi

Il sistema di propulsione dei veicoli ibridi è costituito da due sorgenti di energia complementari. Il primo è un sistema ad alta capacità (tipicamente un combustibile liquido o gassoso), il secondo è un sistema ricaricabile a bassa capacità, che funziona come un buffer per lo scambio di energia, per recuperare l'energia cinetica del veicolo e per fornire potenza supplementare (quindi flusso bidirezionale).

Il sistema di energia ricaricabile può essere di tipo differente:

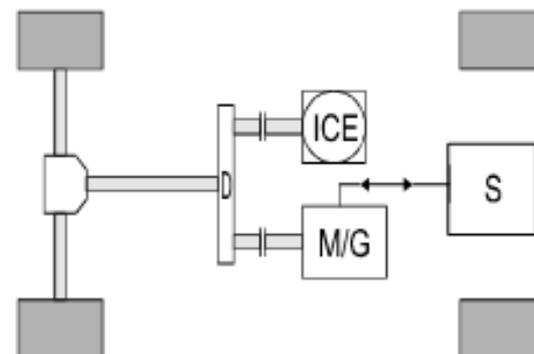
- Elettrochimico (batterie o supercapacitori)
- Idraulico/pneumatico (accumulatori)
- Meccanico (volani)

Series hybrid



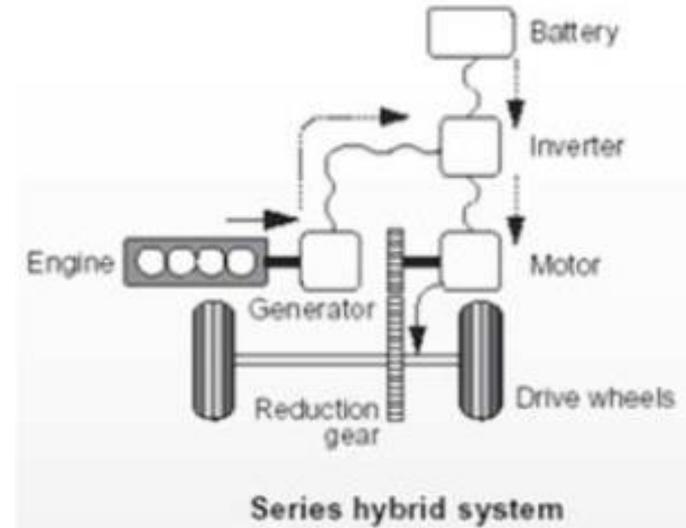
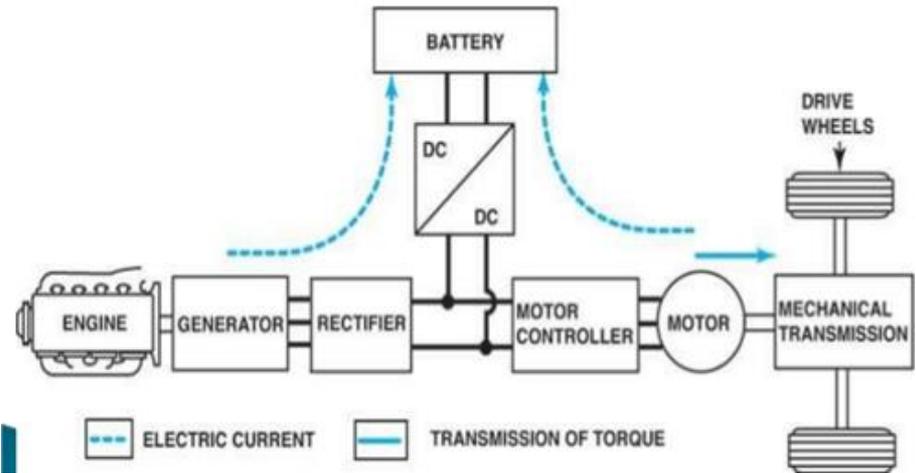
G - GENERATOR
ICE - INTERNAL
COMBUSTION ENGINE
M - ELECTRIC MOTOR
S - ENERGY STORAGE

Parallel hybrid



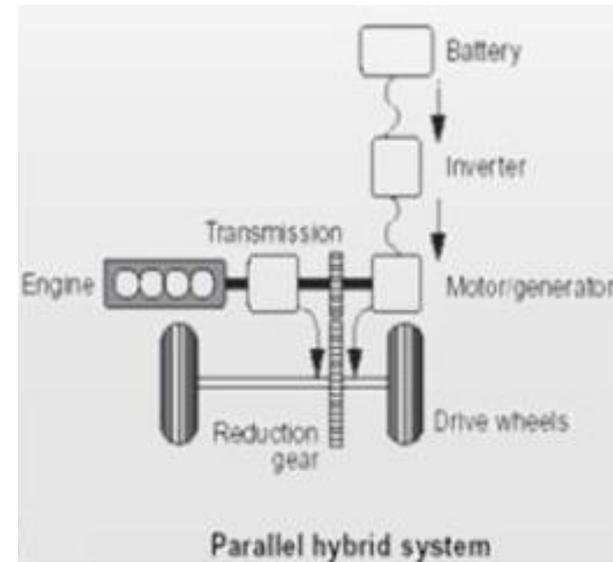
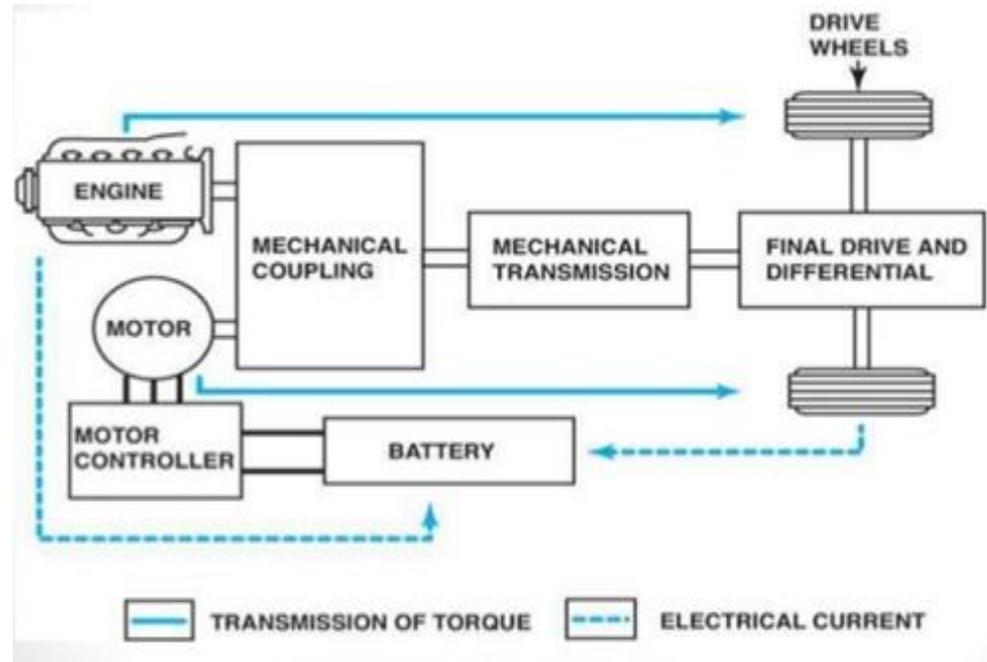
Ibrido serie

- Configurazione più semplice
- Motore termico non accoppiato alle ruote, che sono mosse dal motore elettrico
- Il generatore può caricare la batteria o fornire potenza al motore elettrico
- Solo collegamenti elettrici tra i sistemi di conversione della potenza
- Ottimizzazione della condizione operativa del MCI, selezionando velocità di rotazione e carico per la massima efficienza
- Due conversioni di energia (da meccanica ad elettrica nel generatore, da elettrica a meccanica nel motore) → perdite → il consumo di combustibile aumenta in autostrada
- Uno dei due componenti elettrici deve fornire la potenza massima richiesta → dimensionamento opportuno
- Adatto alla modalità urbana ed extra-urbana (con supporto dal generatore). Gli autobus urbani sono l'applicazione tipica



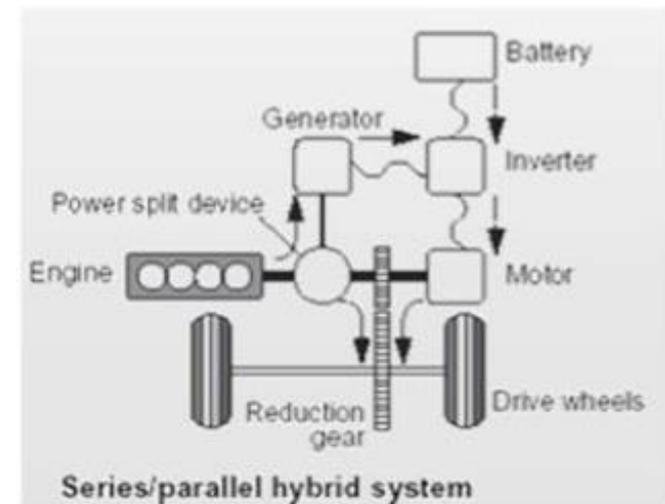
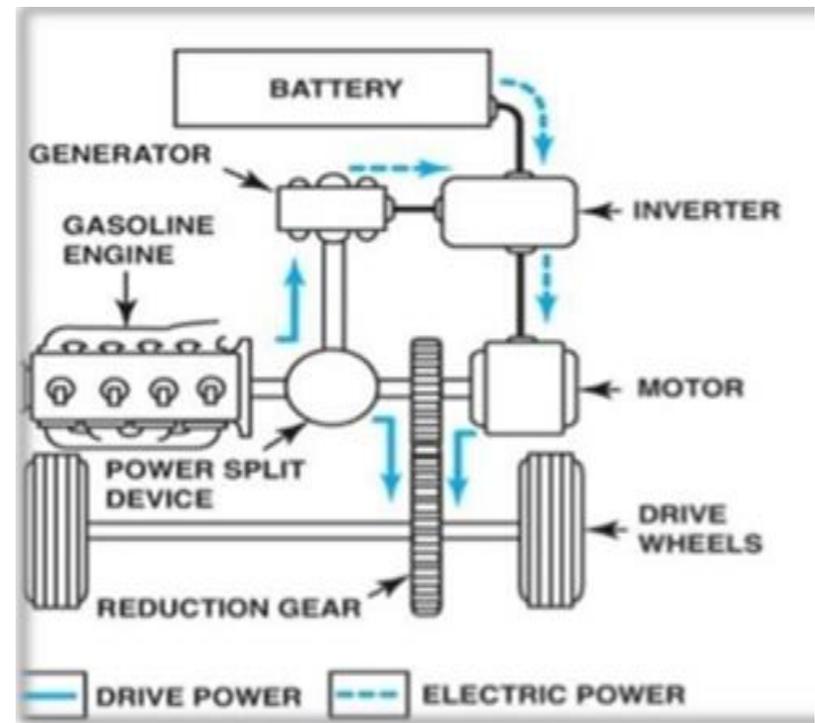
Ibrido parallelo

- Entrambi i motori (termico ed elettrico) generano la potenza richiesta alle ruote
- Il motore termico ha cilindrata/potenza maggiore rispetto alla configurazione in serie
- Le dimensioni/potenza del motore elettrico e pacco batterie sono minori rispetto alla configurazione in serie → costi inferiori di questi componenti, ma anche minore potenziale di recupero nella frenata rigenerativa
- Campo di funzionamento del MCI più ampio (legame tra n e velocità veicolo attraverso la trasmissione meccanica, come nei veicoli convenzionali)
- Più adatto alla guida autostradale, perché l'accoppiamento diretto del MCI con le ruote evita la doppia conversione dell'energia meccanica in energia elettrica e viceversa



Ibrido serie/parallelo o power split

- Utilizzando una o due frizioni, opportunamente innestate o disinnestate, una o più macchine elettriche ed un componente per la ripartizione della potenza (ad es.: planetary gear set), la configurazione può essere modificata da serie a parallelo e viceversa, selezionando quella ottimale a seconda della modalità di guida
- Configurazione più complessa, che può essere realizzata in vari modi, unendo i vantaggi di ciascuna delle configurazioni di base
- Massima flessibilità
- Maggior grado di controllo delle condizioni operative del MCI rispetto alla configurazione parallela
- Applicazione della doppia conversione dell'energia della configurazione in serie solo ad una frazione del flusso di potenza totale → riduzione delle perdite



	Fuel economy improvement				Driving performance	
	Idling stop	Energy recovery	High-efficiency operation control	Total efficiency	Acceleration	Continuous high output
Series	●	◎	●	●	○	○
Parallel	●	●	○	●	●	○
Series/parallel	◎	◎	◎	◎	●	●

◎ Excellent ● Superior ○ Somewhat unfavorable

Veicoli ibridi

TOYOTA: PRIUS HYBRID III		
		
Type: Mid-size car	Drive: Front-wheel	Top speed: 180 km/h (112 mph)
Production: Series	Motor: Permanent motor	Battery: Li-ion
Length: 4.480 m (176.378 in)	Distance between wheels: 2.7 m (106.3 in)	Torque: 207 Nm
Width: 1.745 m (68.71 in)	Base curb weight: 1,490 kg (3,284 lb)	Charging (time): 110/220 V—1.5–3.5 h
Height: 1.490 m (58.66 in)	Motor weight: n.a.	Battery weight: 53 kg (118 lb)
Engine: 1.8 L 4 cylinders Otto Motor	Battery capacity: 4.4 kWh	Electric range: 23 km (14.3 mi)

Toyota Prius III: veicolo ibrido power split

BMW: BMW i3		
		
Type: Subcompact car	Drive: Rear-wheel	Top speed: 150 km/h (95 mph)
Production: Series	Motor: Permanent synchronous	Battery: Li-ion
Length: 3.845 m (151.38 in)	Distance between wheels: 2.57 m (101.12 in)	Torque: 250 Nm
Width: 2.011 m (79.18 in)	Base curb weight: 1,315 kg (2,899 lb)	Charging (time): 110/220 V—0.5–8 h
Height: 1.547 m (60.63 in)	Motor weight: n.a.	Battery weight: 233 kg (514 lb)
	Battery capacity: 22 kWh	Electric range: 161 km (100 mi)

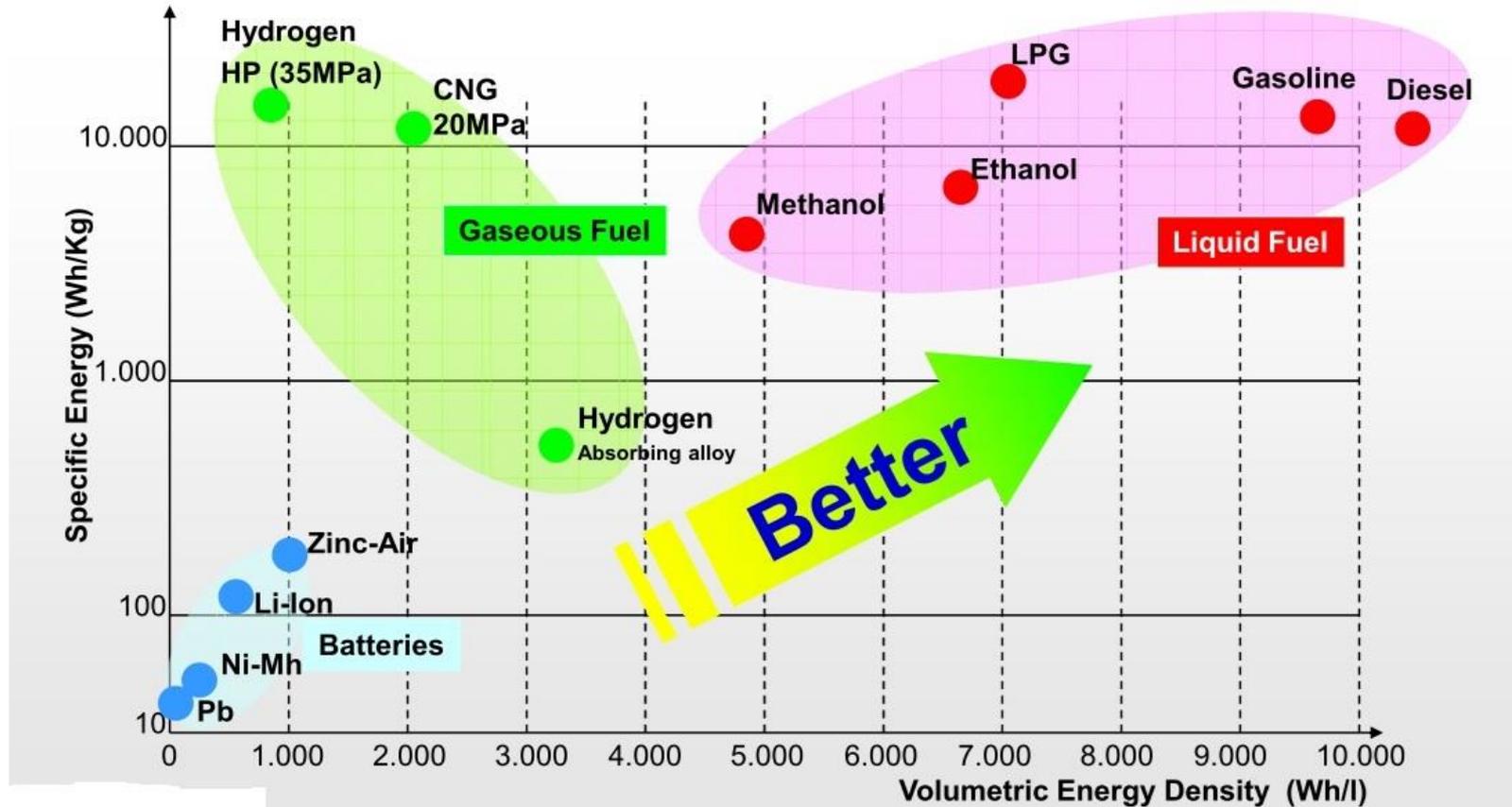
BMW i3 è un veicolo ibrido Extended-Range

Veicoli ibridi Plug-In

BMW: BMW i8		
Type: Sports car	Drive: Front-wheel	Top speed: 250 km/h (155 mph)
Production: Series	Motor: Hybrid synchronous e-motor	Battery: Li-ion
Length: 4.869 m (195.27 in)	Distance between wheels: 2.8 m (110.24 in)	Torque: 320 Nm
Width: 1.942 m (76.46 in)	Base curb weight: 1,490 kg (3,284 lb)	Charging (time): 110/220 V—1.5–3.5 h
Height: 1.293 m (50.91 in)	Motor weight: n.a.	Battery weight: 98 kg (216 lb)
Engine: 1.5 L turbo-charged Inline-gasoline	Battery capacity: 7.2 kWh	Electric range: 40 km (25 mi.)

OPEL: OPEL AMPERA CHEVROLET CHEVROLET VOLT		
Type: Compact car	Drive: Front-wheel	Top speed: 160 km/h (100 mph)
Production: Series	Motor: Hybrid permanent motor	Battery: Li-ion
Length: 4.498 m (177.08 in)	Distance between wheels: 2.69 m (105.91 in)	Torque: 370 Nm
Width: 1.788 m (70.48 in)	Base curb weight: 1,721 kg (3,794 lb)	Charging (time): 110/220 V —1.5–3.5 h
Height: 1.438 m (56.69 in)	Motor weight: n.a.	Battery weight: 180 kg (397 lb)
Engine: 4 cylinders Otto Motor	Battery capacity: 17.1 kWh	Electric range: 80 km (50 mi.)

Confronto delle densità di energia



Volume e massa richieste per una percorrenza di 500 km

