

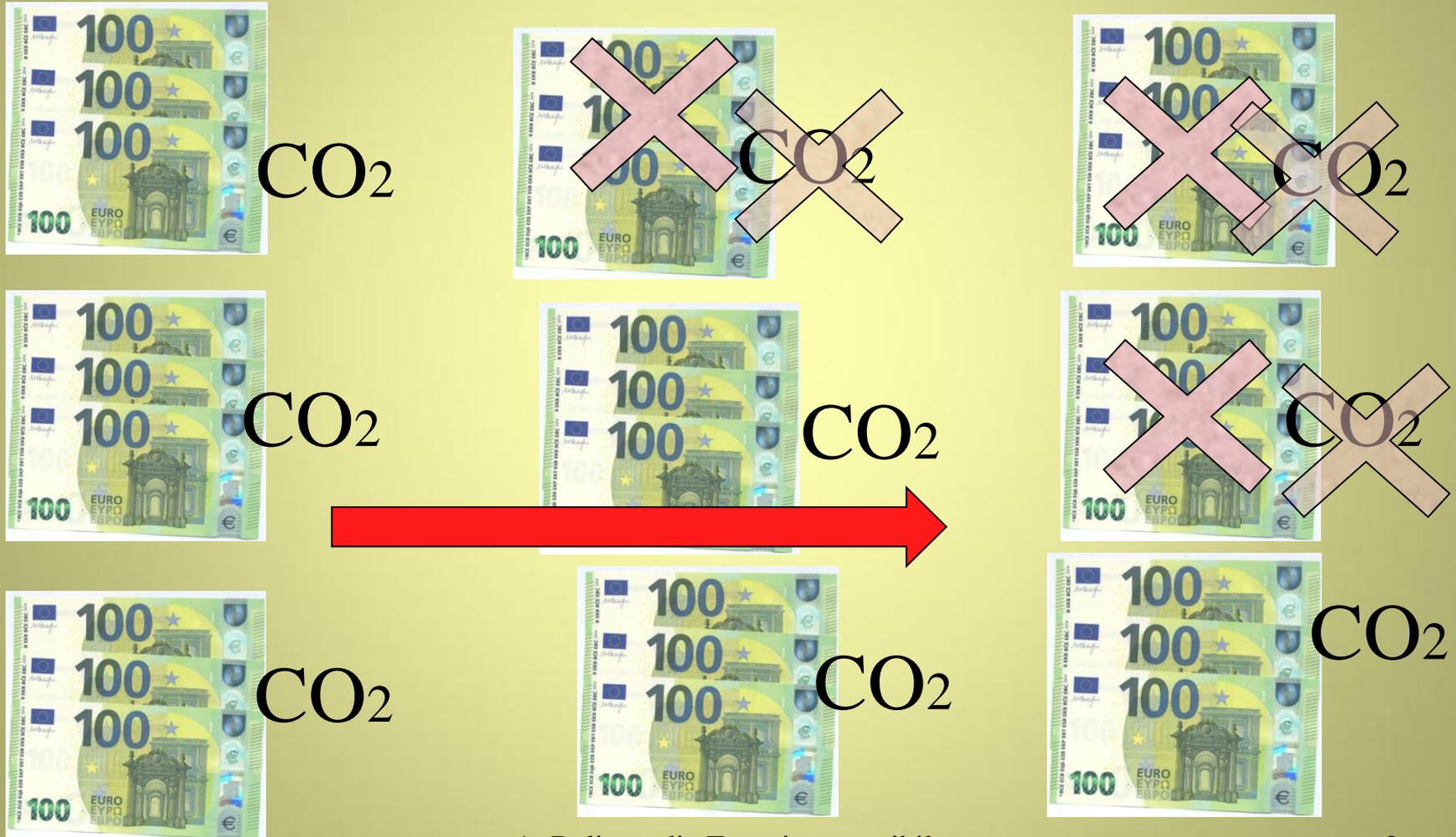
Andrea Belingardi

Energia sostenibile Energia sostenibile cambiamento climatico e aria pulita

per: domande, suggerimenti, critiche e proposte:

andrea.belingardi@libero.it

- Cosa può fare concretamente ognuno di noi per
- risparmiare denaro
 - diminuire la nostra impronta energetica



Nota redazionale

1. Diverse **immagini sono state copiate da internet**. Non so quante avessero copyright. In un successivo riesame vedrò di attribuire l'immagine all'autore.
2. **I calcoli e i concetti** sono spesso molto complessi. Li ho certe volte **banalizzati** (e mi scuso in particolare con i “tecnici”),per cercare di farmi comprendere da tutti. Il tutto comunque è **sostanzialmente corretto** per uno scopo divulgativo. Qualcosa di più specifico è affrontato in appendice (che non conto di trattare a meno che debba rispondere a domande specifiche)
3. È **difficilissimo trovare dati aggiornati** agli ultimissimi anni, ed alcuni dati riportati hanno più di 10 anni.
4. **Molti dati sono di parte**, alcuni sono addirittura di case che vogliono vendere certi prodotti. Seppure ho cercato di verificarli, bisogna quindi prenderli con cautela e non stupirsi se altre volte si trovano dati diversi
5. I risultati dei **calcoli** sono in genere **arrotondati**, causa i punti precedenti e dal momento che quanto interessa sono gli ordini di grandezza.

Sommario

1. Definizione del problema 3
2. Molti tipi di energia 13
3. Ottenere lavoro dal calore 23
4. L'automobile 30
5. Combustione e gas serra 45
6. Energia nelle nostre case 63
7. Riscaldamento in casa 76
8. Energia solare 111
9. Altre energie rinnovabili 118
10. Approfondimenti 135

1. Definizione del problema

La situazione attuale

Un mondo di energia (potremmo mai vivere senza? Guardiamoci intorno)

E' il 18 dicembre. E' mattino presto, fa freddo, mi rigiro nel letto, non riesco più a dormire per il gelo che mi penetra nelle ossa. Mi volto verso **l'orologio sul comodino per sapere che ore sono ma non lo vedo**, è tutto buio. Sarà saltata la corrente, penso, infatti anche **la luce della lampada sul comodino si rifiuta di obbedire al mio comando**. Dopo un po' mi alzo, evitando a fatica di inciampare sulla sedia, arrivo alla finestra. Alzo la tapparella. **Fuori è buio**. Anche lì non c'è luce, fortunatamente la luce della luna evita che mi prenda un'angoscia insuperabile. Tiro fuori dal cassetto la pila, vado in cucina ed accendo una candela.

Mi preparo il caffè e lo metto sul fornello. Ma **anche il metano rifiuta di obbedirmi**. Inutile, dovrò accontentarmi di un biscotto o del latte freddo. Vado in bagno a lavarmi. Accidenti, **apro il rubinetto e niente acqua, né calda né fredda**. Saranno bloccate anche le pompe dell'acqua potabile. Non posso accendere la televisione per sapere cos'è successo. Cerco una radio a pile ma anch'essa non dà segni di vita. Tiro su **la cornetta del telefono: muta**. Urlo e... mi sveglio di nuovo!

Il vento aveva aperto la finestra chiusa male ed entrava freddo in camera, ma per il resto tutto funzionava regolarmente. Era solo un sogno... ma quale sogno?

Eppure c'è ancora **più di un miliardo di persone che oggi sulla terra vive così**, senza energia e senza allacciamenti alla rete elettrica, all'acqua potabile, al gas, alla rete fognaria. Eppure fino a poche centinaia di anni fa anche nella civilissima Europa o in America si viveva così. Polmoniti, malattie respiratorie e malattie dovute alla scarsa igiene erano all'ordine del giorno. La speranza di vita per molto tempo non ha superato i quarant'anni oggi cresce a ritmo vertiginoso: nell'ultimo decennio prima del covid in Italia la vita media si è allungata di due anni.

Ma la gente protesta, c'è inquinamento, si rovina il paesaggio, **fondono i ghiacciai**, vogliono costruire inceneritori e centrali nucleari e si fanno raccolte di firme per contrastare queste iniziative, i consigli comunali dichiarano i loro comuni denuclearizzati.

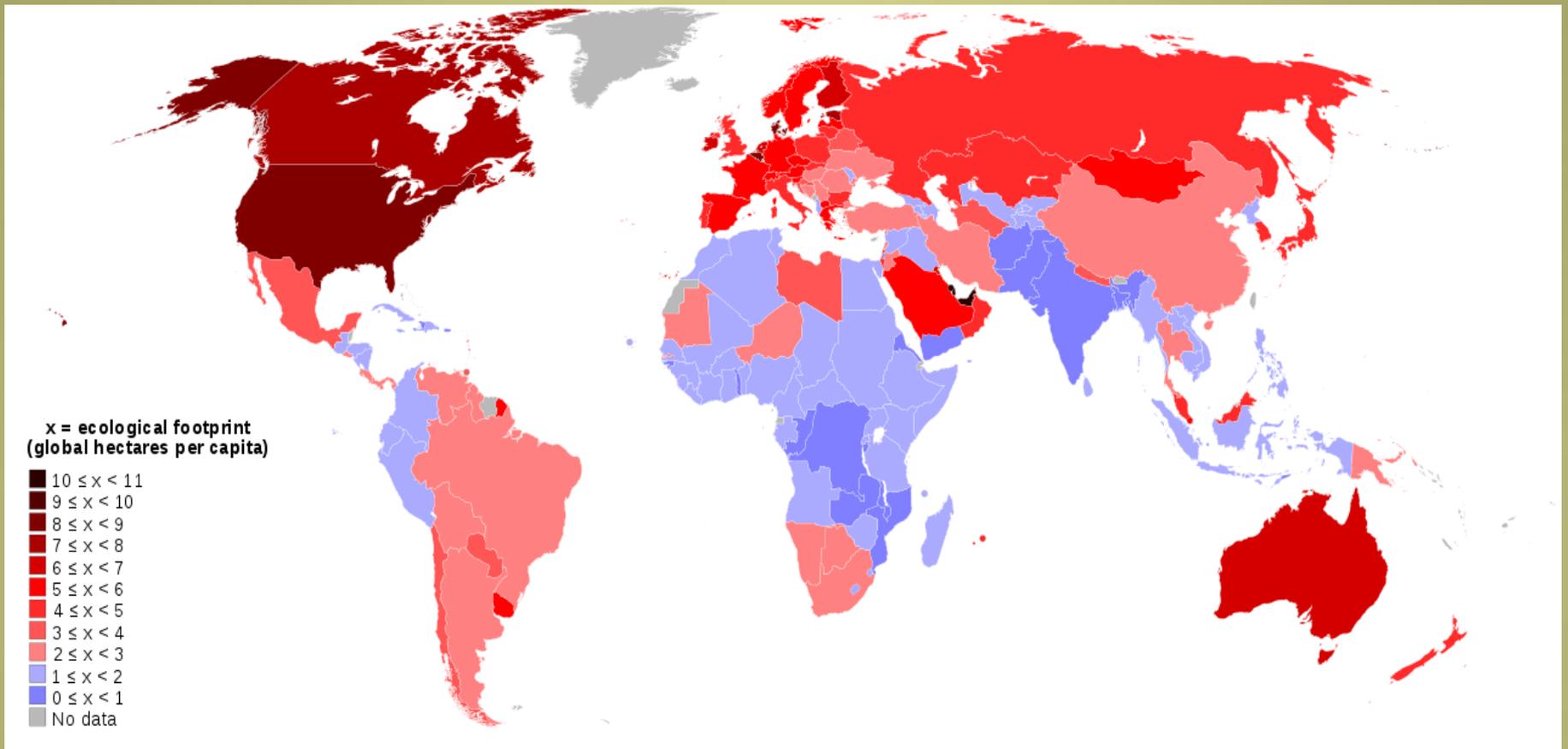
Non nego che non ci siano stati e si compiano degli errori anche grandi in fatti di politica energetica e lo vedremo nelle prossime schede ma senz'altro il modo di vivere è migliorato notevolmente negli ultimi decenni.

Viviamo in un mondo contraddittorio che vuole le comodità e non vuole sopportarne i disagi e le posizioni sono spesso diverse, anzi antitetiche. La domanda è unica: Tutta colpa della tecnologia o merito?

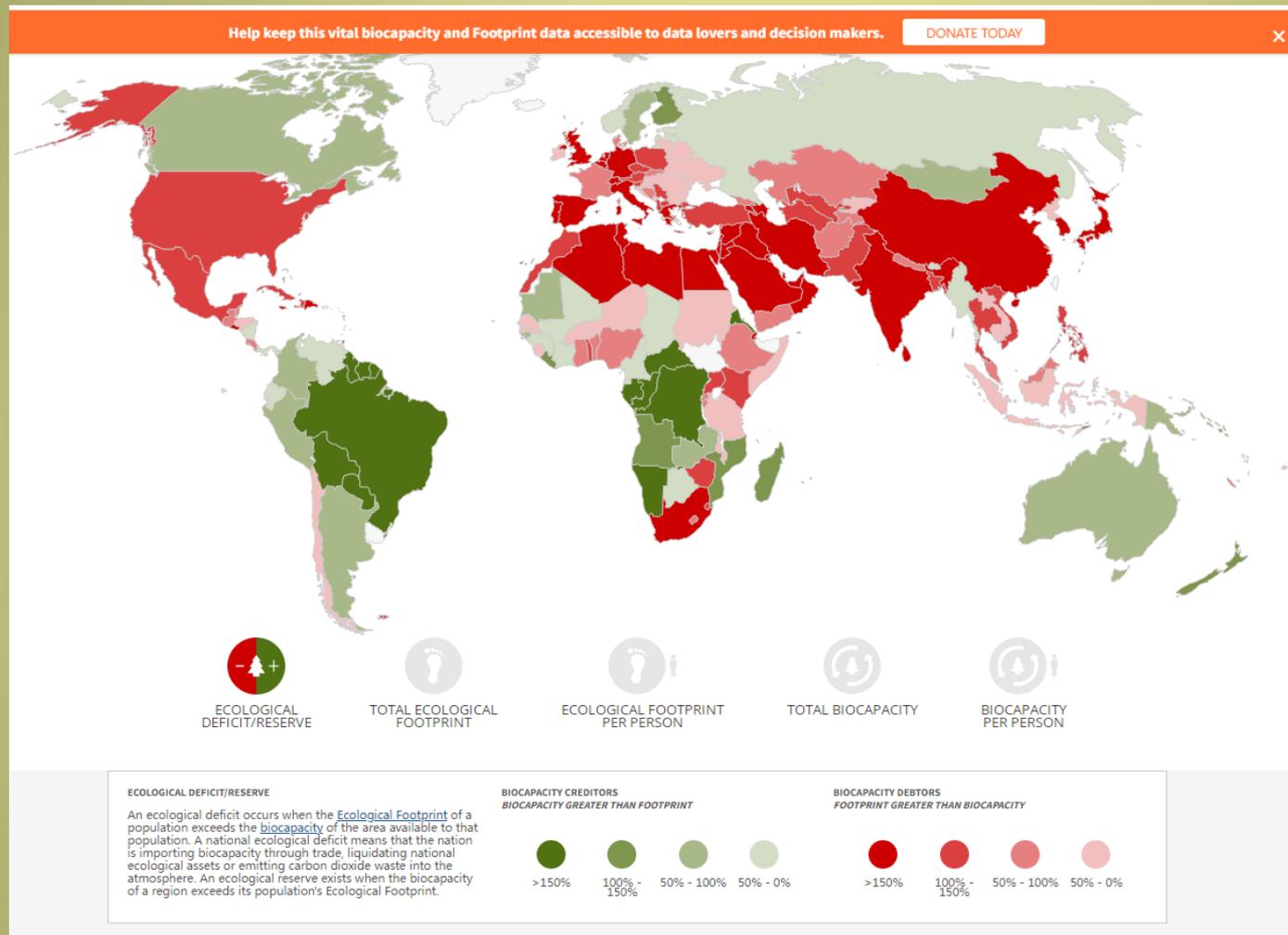
La risposta non può essere unica ma sostanzialmente anticipo quel che sarà lo conclusione di questo libro. La tecnologia può e deve essere usata con attenzione sfruttando in particolare le risorse rinnovabili, per poter andare verso uno sviluppo sostenibile. Tutti noi dobbiamo prendere coscienza delle nostre abitudini errate, e conformarle ad un uso corretto delle risorse, ma non solo noi come singoli cittadini anche se "è goccia dopo goccia che nasce un fiume". Ancora di più deve conoscere il problema energetico chi ha un ruolo decisionale all'interno di nazioni, regioni, comuni: costoro non possono permettersi l'ignoranza che oggi dimostrano assumendo comportamenti talvolta dannosi per tutta la popolazione.

C'è bisogno di chiarezza, e non di luoghi comuni. Alcune persone di cultura si vantano di non conoscere chimica, fisica, matematica, la tecnologia in genere. Si dà dell'ignorante a chi non conosce "l'infinito" di Leopardi, o il pensiero di Platone, ma sembra logico non conoscere i principi della termodinamica.

Il mio scopo nelle schede che seguono è cercare di spiegare qualche concetto scientifico basandomi come prerequisito solo sulle conoscenze che si hanno dopo avere fatto le scuole medie. Se si hanno figli o nipoti di quell'età si prendano in mano i loro libri e si rileggano con loro



Qui sopra indichiamo l'impronta ecologica dei vari stati. L'Impronta Ecologica valuta il consumo umano di risorse naturali rispetto alla capacità della Terra di rigenerarle. L'impronta ecologica media degli abitanti della Terra è di 1,84 ettari di ecosistemi terrestri e 0,51 ettari di ecosistemi marini per un totale di 2,35 ettari pro capite. Ma ci sono solo 1,79 ettari di sistemi ecologici produttivi per ciascun abitante della Terra. I dati ripartiti per nazione sono del 2007. Negli ultimi anni c'è stato un ulteriore peggioramento ma mi mancano i dati per singoli stati https://it.wikipedia.org/wiki/Impronta_ecologica

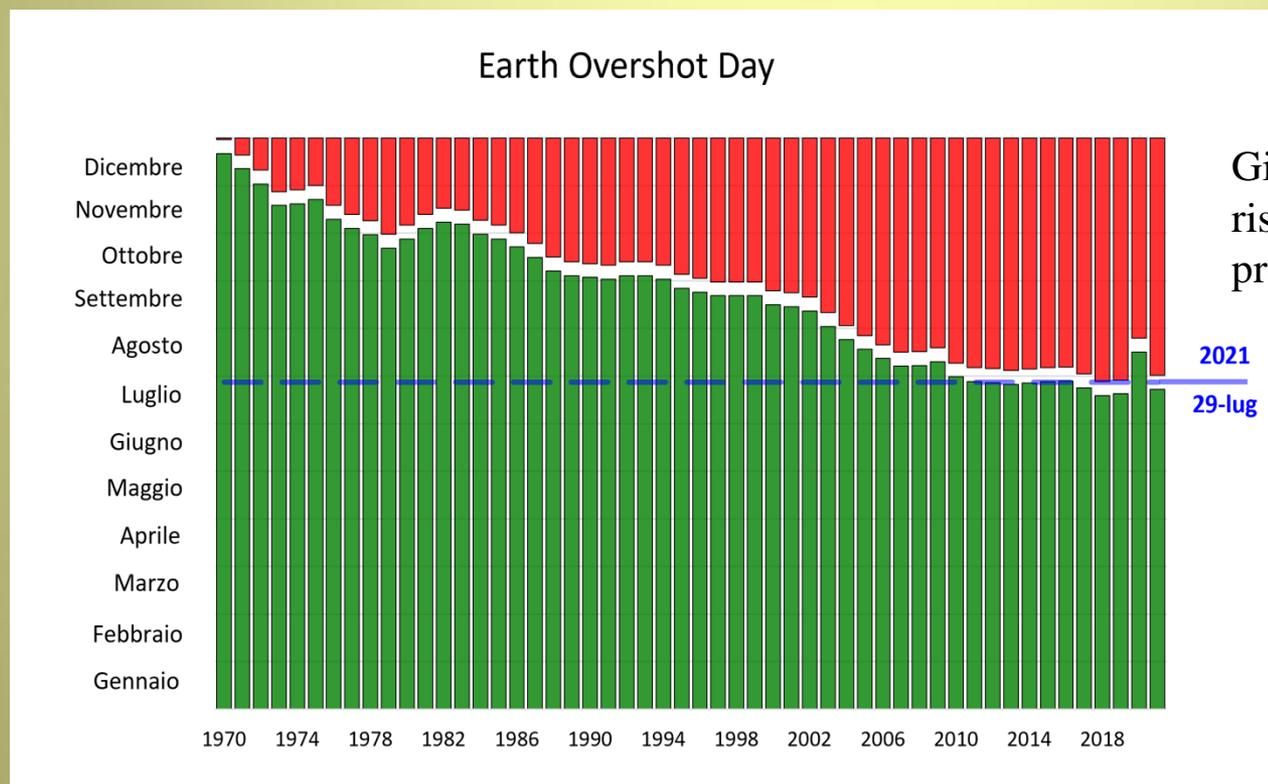


Tenendo conto dell'estensione delle terre e della popolazione, cambiano un po' le classifiche Brasile e Congo, (grandi foreste) Russia, Australia e Canada (bassa densità di popolazione) risultano positive mentre l'Europa e le zone più abitate (Cina e India) o desertiche (mediterraneo meridionale, sono in negativo

L'**Earth Overshoot Day** (*EOD*), in italiano **Giorno del Superamento Terrestre, del sovrasfruttamento della Terra o dello sforamento**, indica, a livello illustrativo, il giorno nel quale l'umanità consuma interamente le risorse prodotte dal pianeta terra nell'intero anno.

https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Overshoot_Day

per il 2021 il giorno è calcolato il 29 luglio



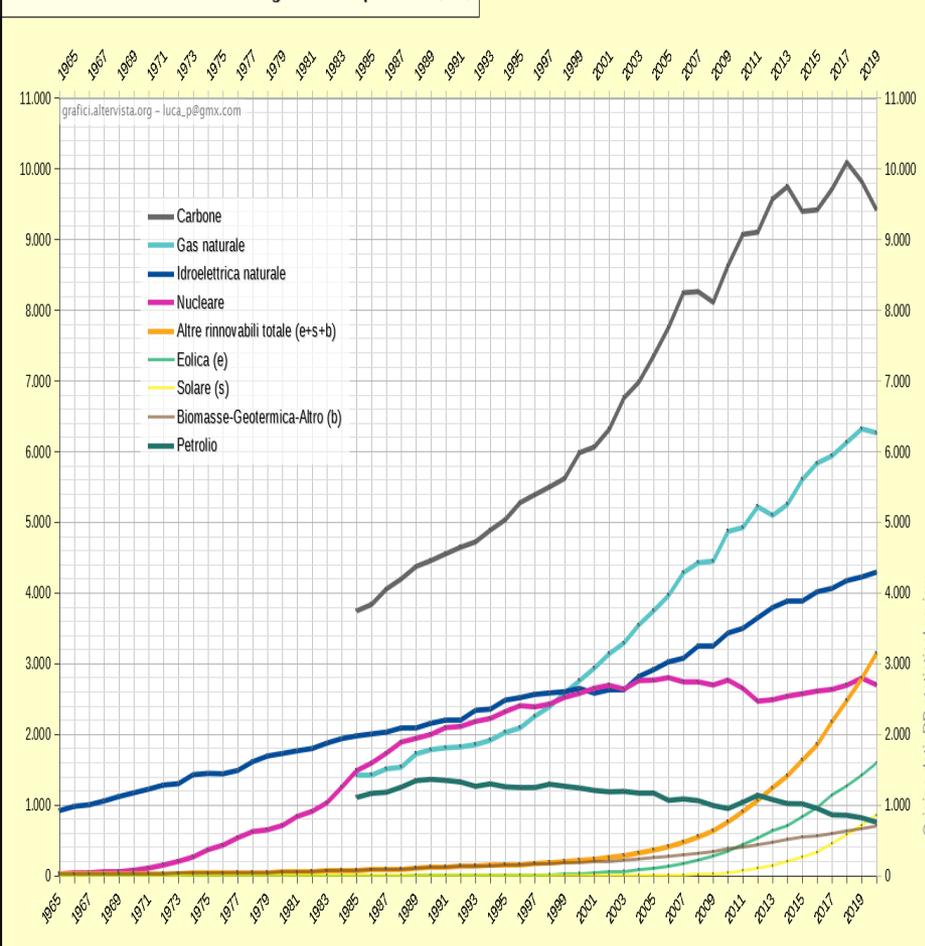
Giorni di superamento rispetto alla capacità produttiva della terra

2021
29-lug

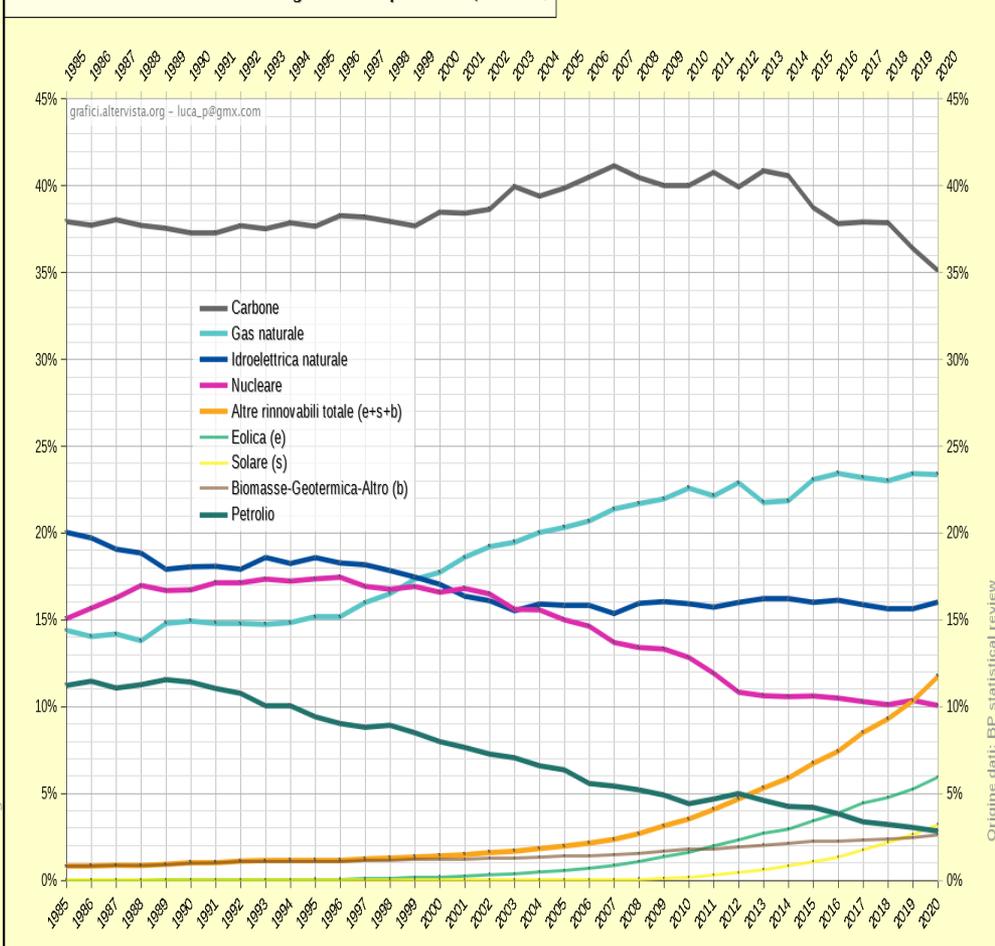
Molto è dovuto all'aumento di popolazione passata dal 1987 al 2021 da 5 miliardi a 7,85 miliardi tanto che alcuni per risolvere il problema hanno proposto di ... non fare più figli

Consumo energetico mondiale 140 000 000 000 MWh (di cui 20% elettrico) cioè 20 000 kWh pro capite anno o = **55 kWh/giorno pro capite di cui 10 kWh elettrico in media**. Ricavato ancora principalmente dal **carbone**

Produzione mondiale lorda di energia elettrica per fonte (TWh)

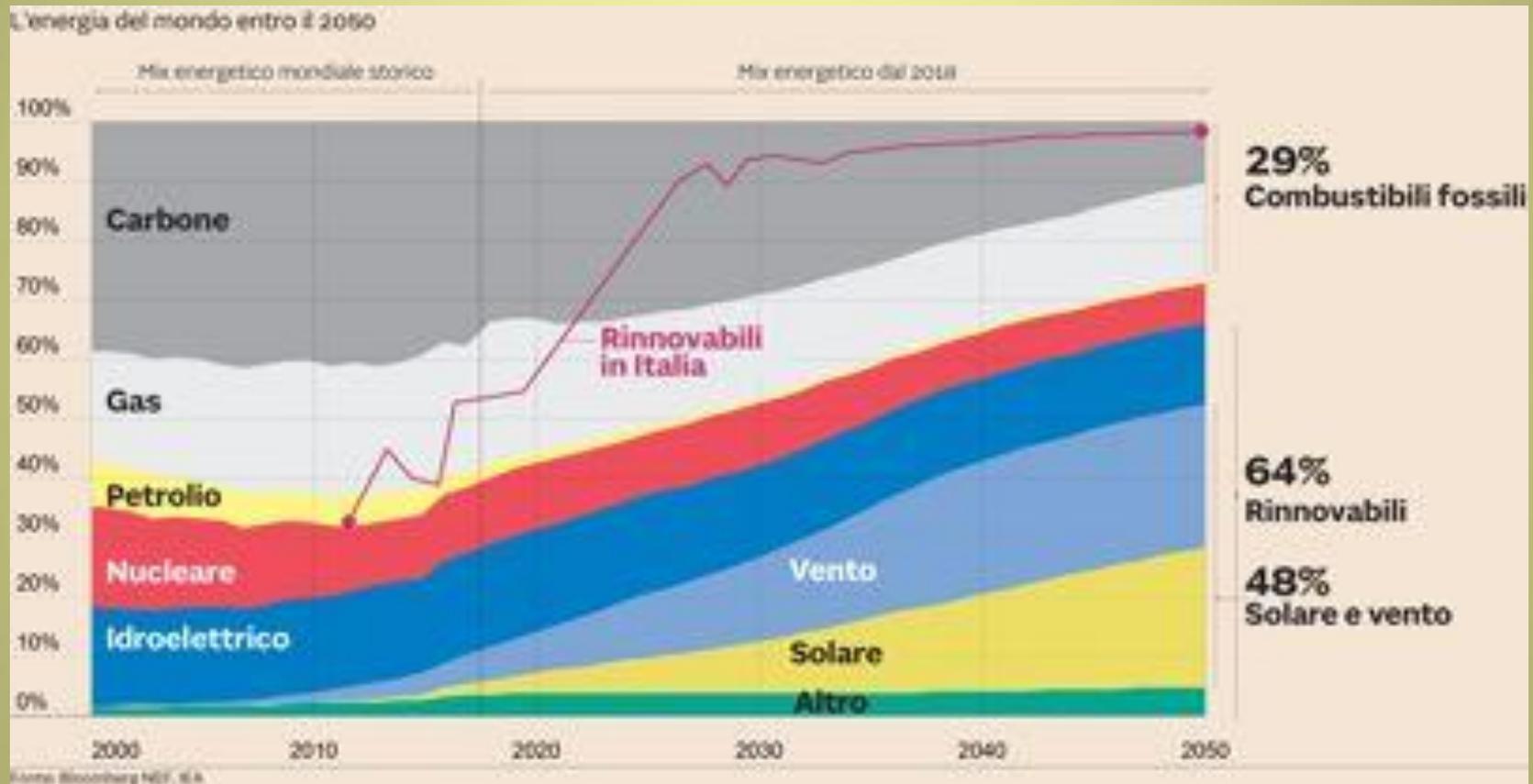


Produzione mondiale lorda di energia elettrica per fonte (percentuali)



Energia nel mondo. Evoluzione future

Le previsioni sono rosee... ma ci vuole tempo, forse troppo!

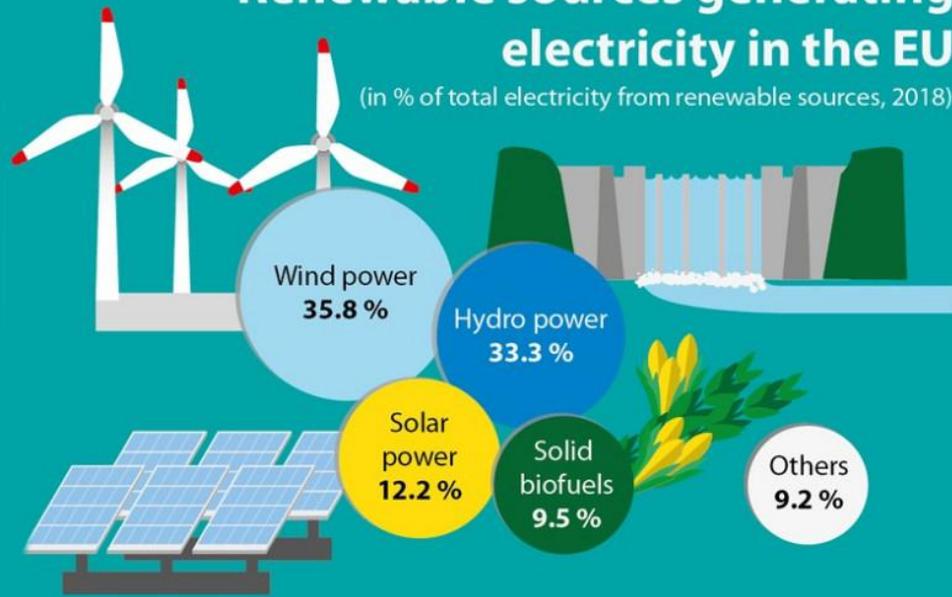


I primi della classe

La **Svizzera** non usa fonti fossili ma solo rinnovabili e nucleare (da discutere) La **Francia**, in basso alla classifica salirebbe al primo posto (90%) considerando il nucleare

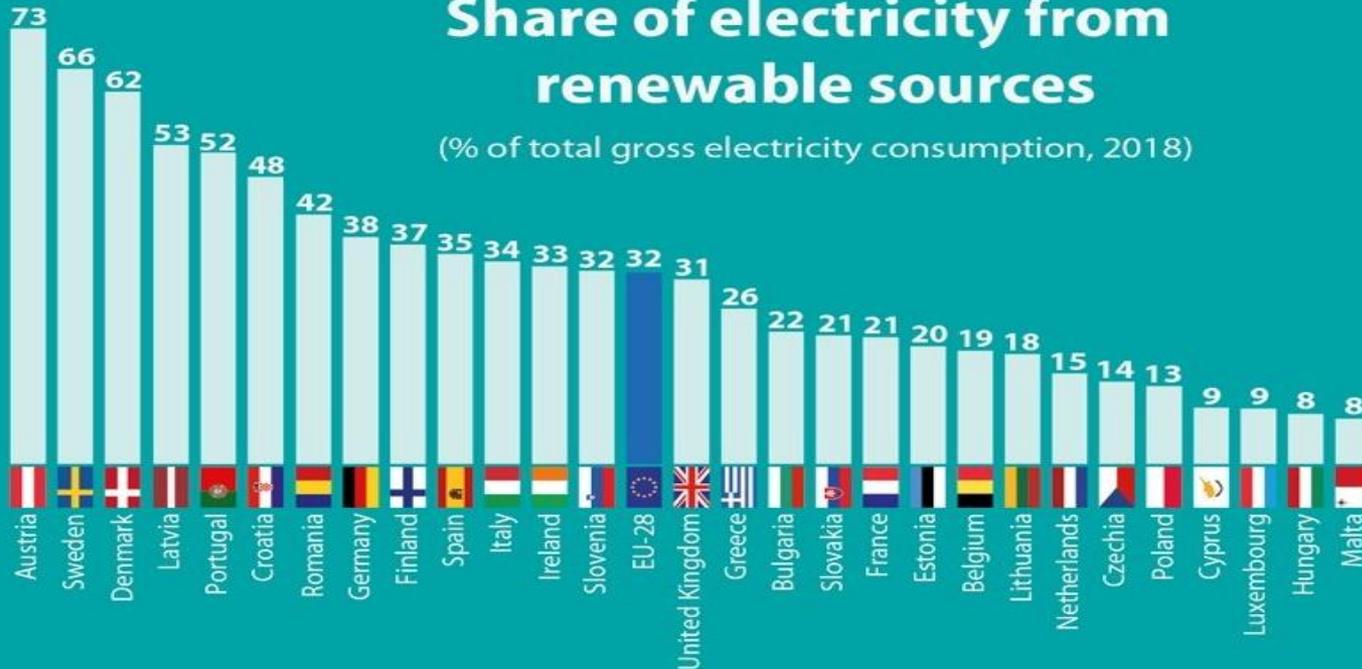
Renewable sources generating electricity in the EU

(in % of total electricity from renewable sources, 2018)



Share of electricity from renewable sources

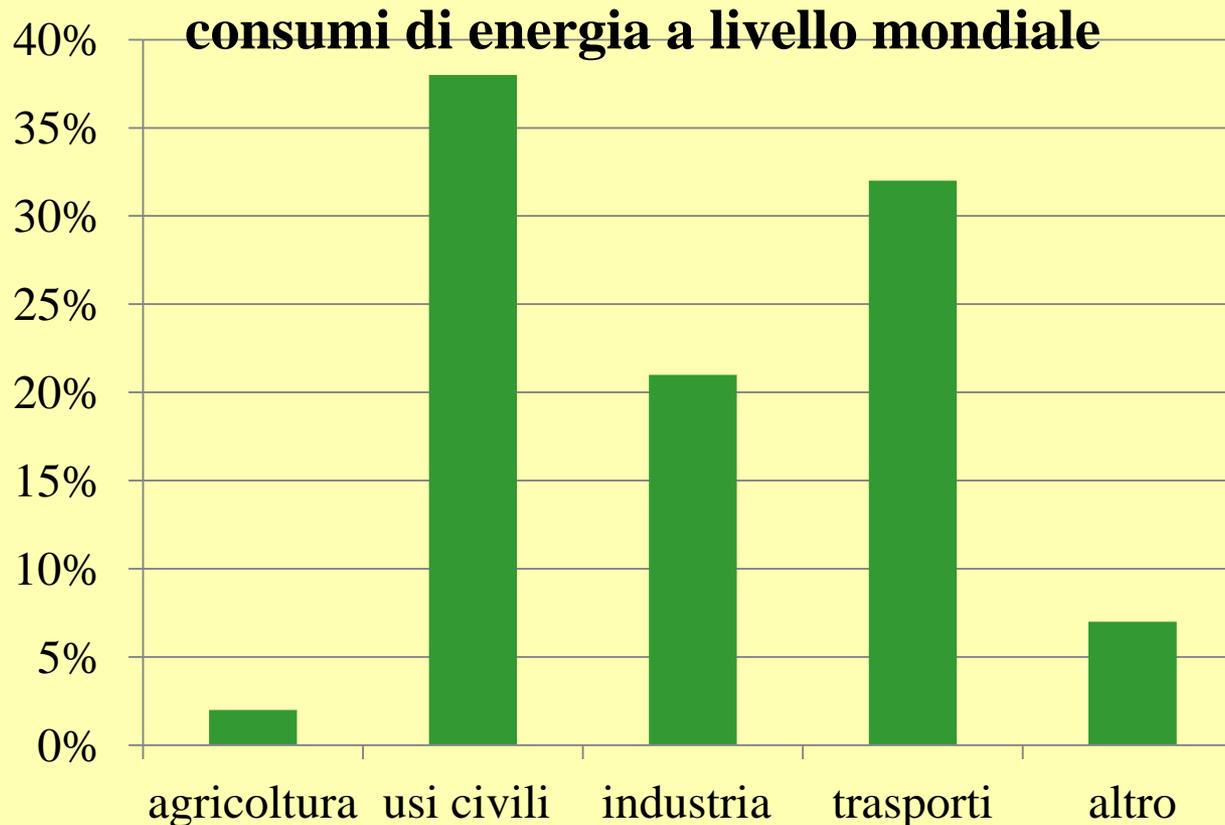
(% of total gross electricity consumption, 2018)



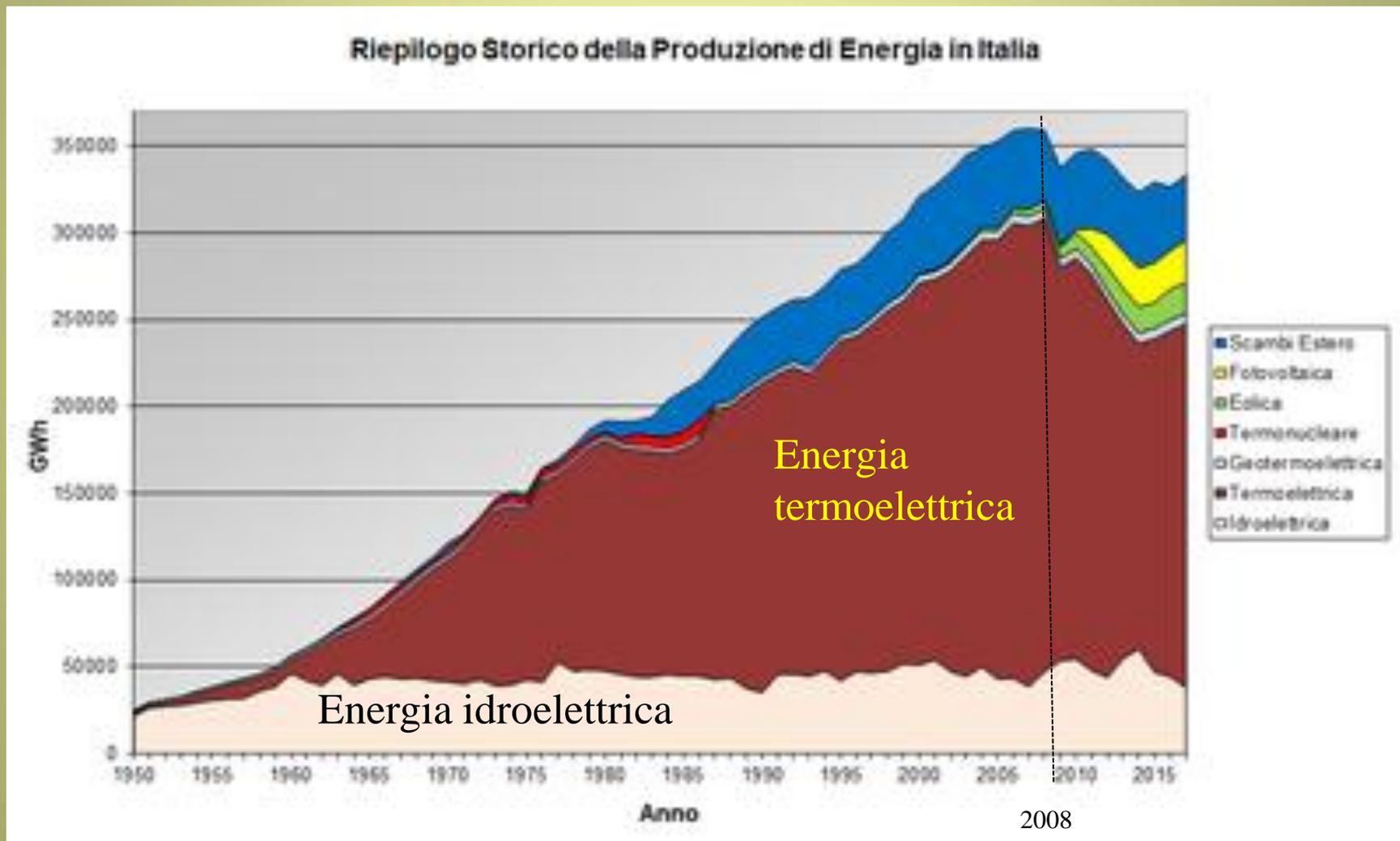
In questa classifica manca ad esempio la **Norvegia**, che non fa parte della UE con il 100% delle rinnovabili (di tipo idroelettrico!!) ma ha una bassa densità di popolazione e un territorio montuoso.

In Italia è autosufficiente (rinnovabile) energeticamente la sola provincia di **Bolzano**

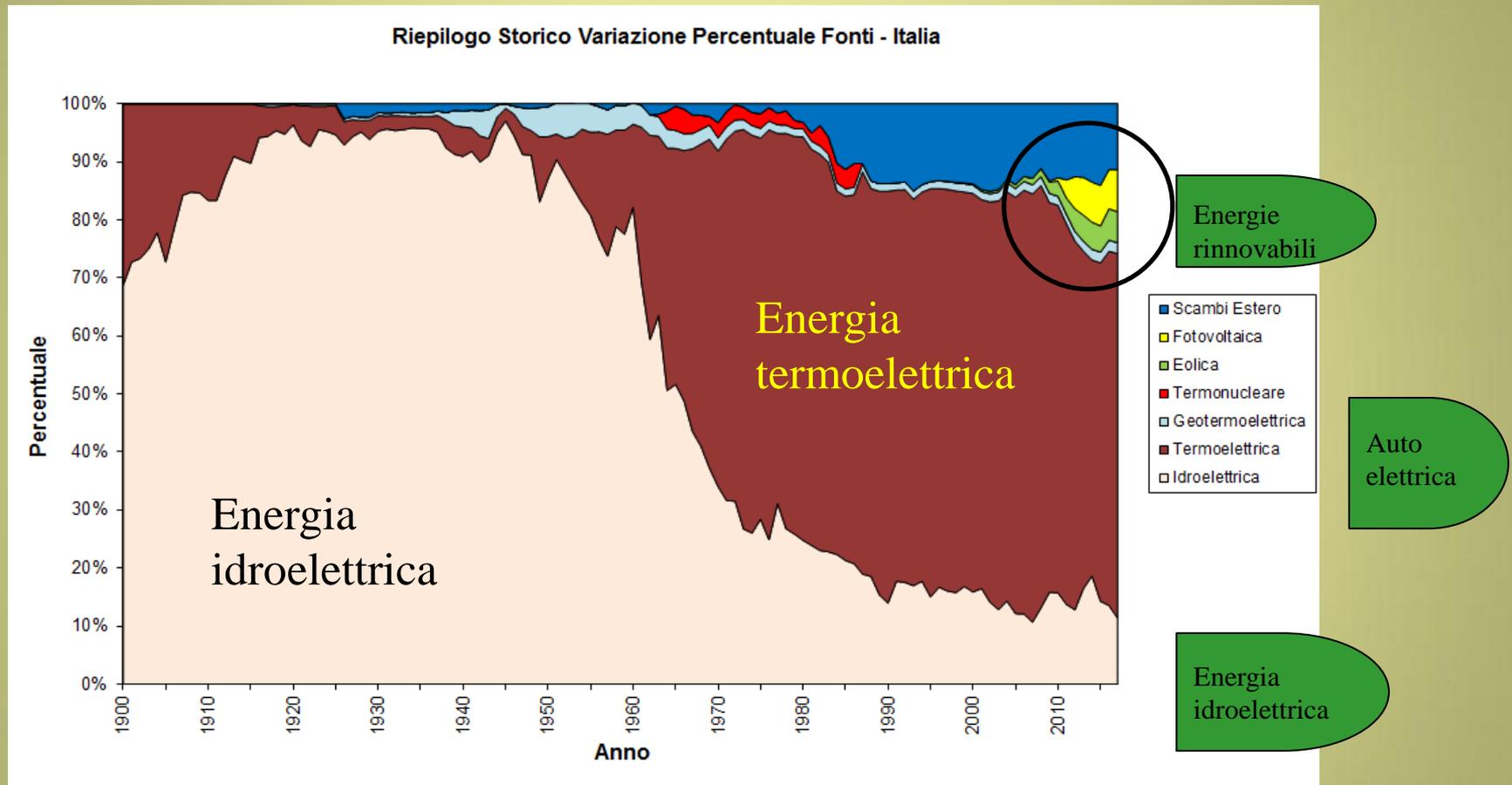
Ripartizione dei consumi mondiali di energia,
agli usi civili e ai trasporti contribuisce anche ognuno di noi.
Vediamo come fare per ridurli



Italia: 360 000 000 000 kWh : **16 kWh elettrici procapite al giorno** poco sopra la media mondiale. In diminuzione per crisi economica, non tanto per virtù. Notare l'evoluzione storica negli ultimi 70 anni

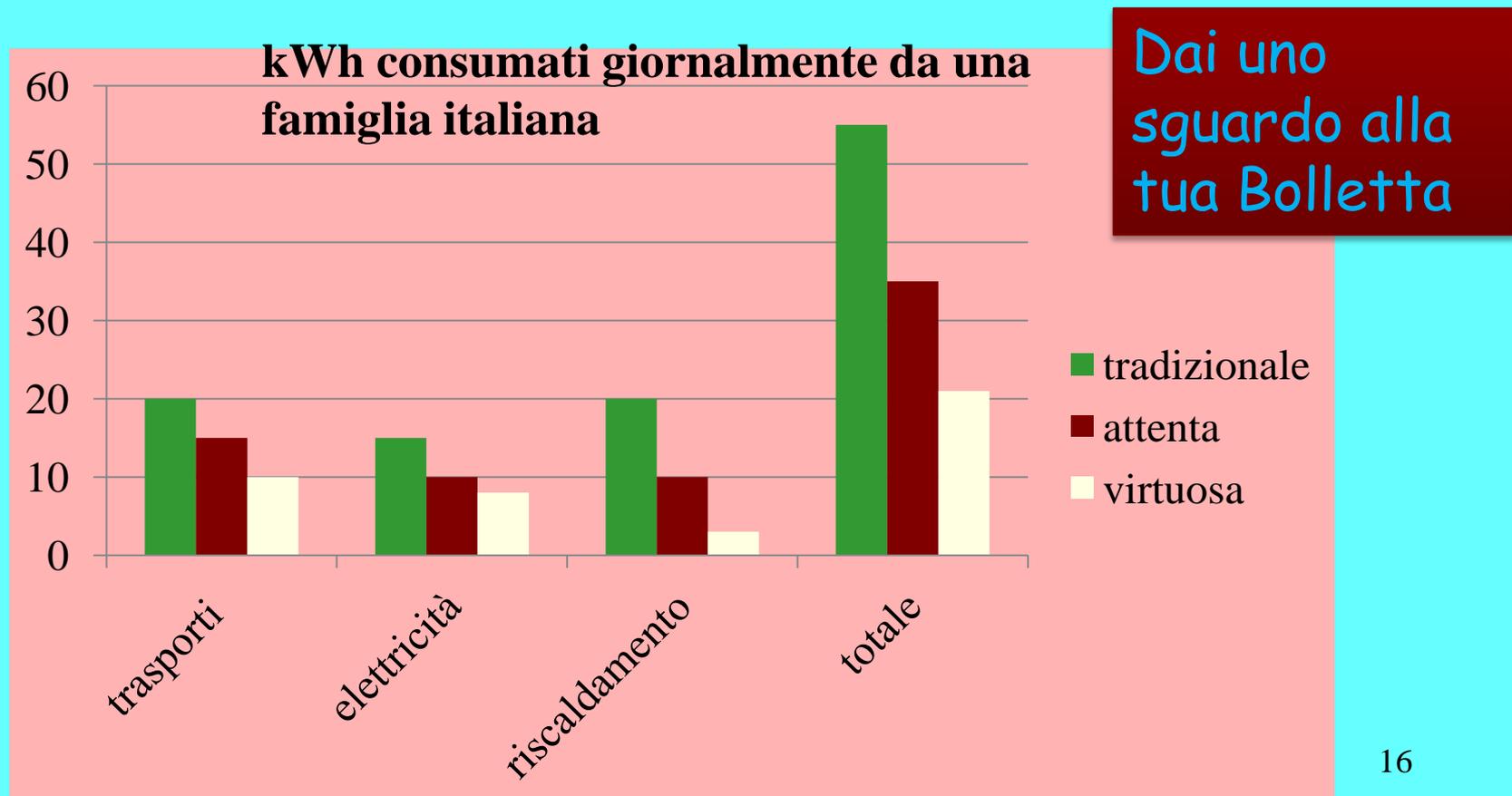


Come si vede la maggior parte dell'energia che l'Italia consuma è di origine Termoelettrica (combustibili fossili). Simile sono le percentuali a livello mondiale. Fino al 1950 dominava l'idroelettrico



Ogni famiglia in media (2-3 persone) in Italia incide direttamente per 35 KWh di energia al giorno. Utilizza 10 kWh /giorno di elettricità, 15 kWh/giorno per i trasporti (15000 km/anno = 40 km/giorno in auto), 10 kWh/giorno per riscaldamento raffreddamento, ma intorno a lei (come visto nelle pagine precedenti) ruota anche il consumo energetico della nazione (produzione alimentari e beni di consumo più o meno durevole, ma anche il terziario compreso scuola e sanità) per almeno altri 100 kWh giorno.

Su questi ultimi (a parte consumi a km zero, diminuzione dei rifiuti e loro differenziazione, ecc , che però esulano dal presente lavoro e sono più difficili da quantificare) è difficile incidere non solo senza rinunciare ai beni di consumo a cui siamo abituati, ma anche senza mettere in crisi tutto l'apparato economico globale ed il livello occupazionale



Oltre ai consumi energetici visti in pagina precedente una famiglia può incidere sulla propria **impronta ecologica** anche con altri quattro interventi

1. Una **dieta** adeguata (è il fattore che incide maggiormente!)
2. Una **raccolta rifiuti differenziata** , e meglio diminuire direttamente la quantità di imballaggi tali da non doverli smaltire. Evitare il consumo di materie prime e di energia per produrle.
3. Un **consumo responsabile di acqua potabile** . Il legislatore ha previsto l'utilizzo di contatori individuali, ma non ha previsto sanzioni per gli inadempienti così si continua a sprecare. Mediamente ogni italiano consuma 86 m³ annui di acqua potabile al costo di 2 € al m³
4. **Un minore acquisto di beni di consumo** favorendo il riciclo, la riparazione, il riuso. Quest'ultimo fattore pur essendo utile per diminuire l'impronta ecologica, chiaramente contrasta con la necessità di sviluppo di una nazione con lavoro per tutti.

Questi fattori pur essendo molto importanti (ed oggetto di studi pur con risultati poco omogenei) esulano da questo studio e faranno parte di un prossimo approfondimento

•
Abbiamo davanti due strade:

1. produrre più energia (ovviamente rinnovabile).

*(Nella VII e VIII parte della presentazione esamineremo le fonti di energia rinnovabile:
funzionamento e problemi)*

2. Consumare meno energia, pur rimanendo costante il nostro tenore di vita. *(IV, V, VI parte della presentazione)*

È possibile?

Sì a patto di prendere i necessari accorgimenti, finiremo non solo per risparmiare noi, ma anche per fare del bene al pianeta evitando il suo surriscaldamento e rendendo l'aria più respirabile.

Dobbiamo prima però capire cos'è l'energia e come si può produrre
(II e III parte presentazione)

Esamineremo l'energia che ognuno di noi consuma direttamente per vedere le strategie da adottare, ma **dobbiamo aggiungere nel calcolo quella necessaria per:**

1. Produrre **Alimenti**
2. **Abitazioni** (oltre che per riscaldare e raffreddare, occorre energia anche per costruire)
3. **Trasporti** (quelli pubblici, ma anche i privati debbono essere costruiti e bisogna produrre le materie prime per farlo (per un'auto l'energia per produrla equivale a quella consumata in circa 4-5 anni di vita)
4. Produrre **Beni di consumo**
5. **Servizi** (comprese istruzione e sanità)

Qui analizzeremo solo il consumo di una famiglia per vedere come agire e come risparmiare per il bene nostro e dell'aria che respiriamo

Non dobbiamo farci sviare dalle parole vuote dei grandi della terra. Il solo Biden pure sensibile al problema è venuto a Roma al G20 con 40 auto fra scorta e accompagnatori. Gli stessi spostatisi in aereo a Glasgow sono arrivati con 400 aerei che hanno intasato l'aeroporto. E sappiamo che l'aereo è un mezzo energivoro e inquinante

2. Molti Tipi di Energia

Alcune definizioni

La **Potenza** è la possibilità di produrre energia e la si eroga solo quando l'apparecchio è in funzione

L'**Energia** è il lavoro effettivamente prodotto o consumato

Unità di misura

Potenza W o kW ($1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 860 \text{ kcal/h} = 1,33 \text{ CV}$)

Una persona impegna circa 100 W per il metabolismo di base, la mia Panda può erogare fino a 51 kW quando è in funzione, ne eroga zero stando ferma

Energia 1kWh = 3600000 J = 860 Kcalorie = 3412 BTU

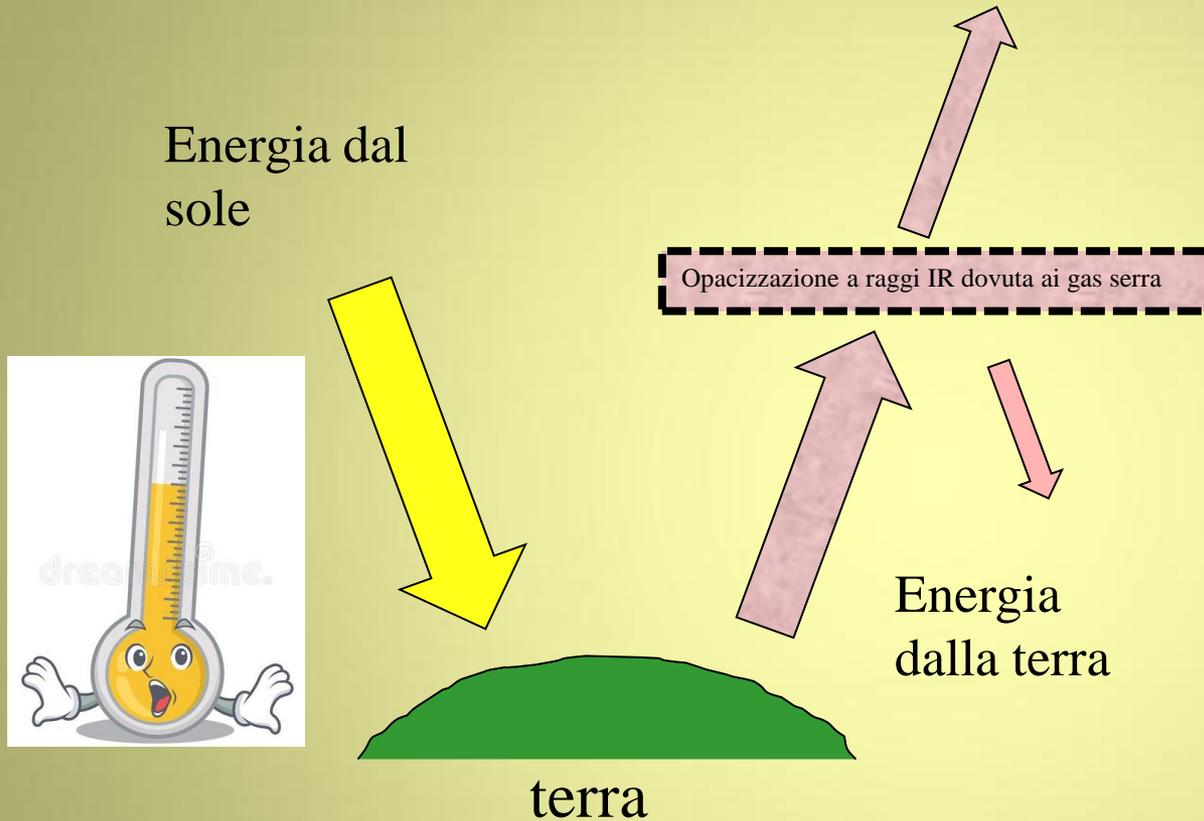
Noi consumiamo 100 Wh a riposo e 200Wh (circa) quando facciamo sport (la frequenza cardiaca raddoppia) in un giorno a riposo 2 kWh. Se uso la mia Panda a potenza massima per 1 ora consuma 51 kWh di energia

Temperatura °C (celsius, scala arbitraria). **K** (kelvin, scala fisica)

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} + 273$$

La temperatura in Kelvin, parte dallo **ZERO** assoluto (-273°C), temperatura sotto la quale non si può fisicamente andare. Più che dire che la temperatura media della terra è 15°C dovremmo dire che è di 287 K. Le leggi fisiche si basano sulla temperatura K. Ma se considero una variazione di temperatura, $^{\circ}\text{C}$ e gradi K hanno la stessa ampiezza. Diverso per i gradi Fahrenheit

Primo principio della termodinamica



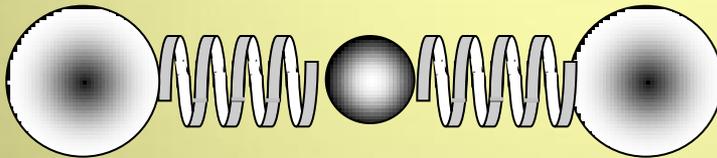
Il flusso di energia che arriva dal sole (essenzialmente in giallo a lunghezza d'onda di 500 nm) è riemessa dalla terra (in infrarosso a 10 000 nm) vedremo parlando dell'effetto serra

l'energia (in un sistema isolato) si conserva, cioè può essere convertita da una forma ad un'altra. La terra non è un sistema isolato perché prende energia dal sole ... ma per rimanere alla stessa temperatura deve anche restituirla (o almeno cercare di farlo), altrimenti si riscalda...

Bilancio
dettagliato

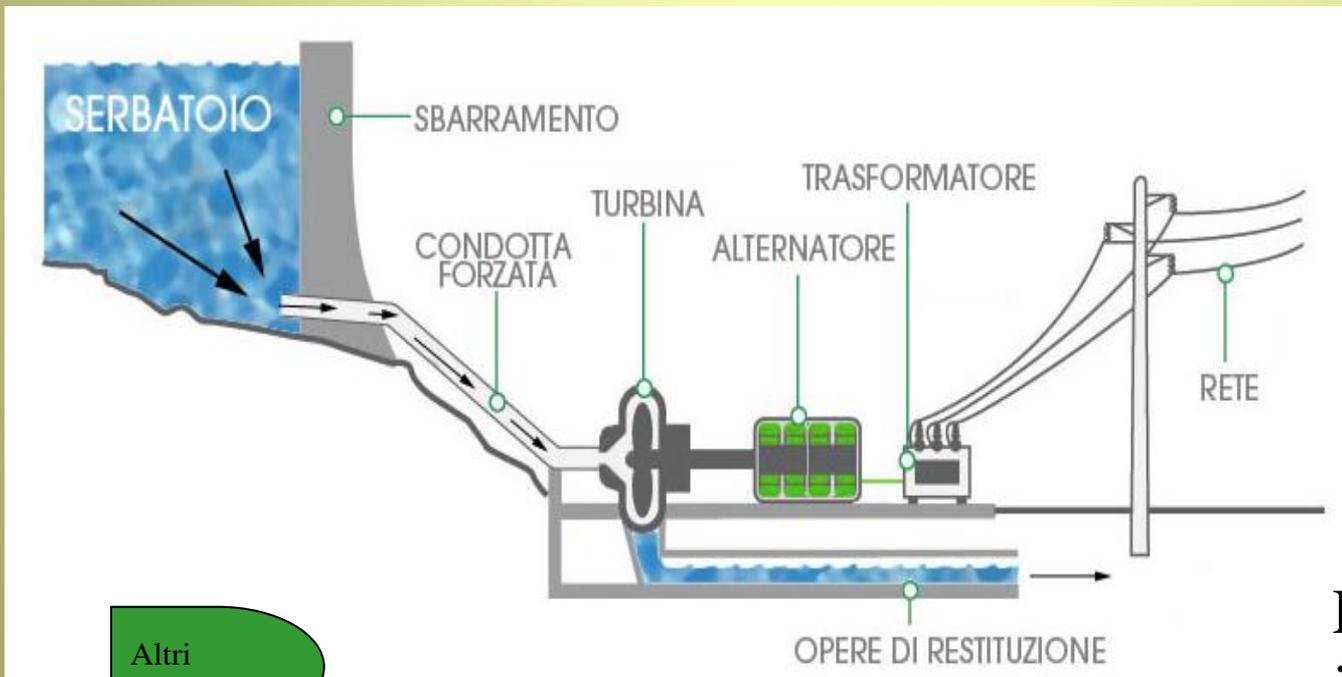
Esempi di energia:

Energia Chimica: quella posseduta dai combustibili come la benzina, il gas, il legno che bruciati danno calore. Si ottiene ricombinando i legami chimici verso situazioni di maggiore stabilità. In genere più Carbonio (C) e idrogeno (H), ci sono in una molecola maggiore è il suo contenuto energetico. Una molecola con tanto ossigeno (O) ha generalmente poca energia disponibile è molto stabile e non brucia. **Il metano (CH₄) ha molta energia chimica ed è un ottimo combustibile;** l'acqua (H₂O) e l'anidride carbonica (CO₂) sono molto stabili e hanno poca energia chimica. L' idrogeno (H₂) è troppo energetico per esistere libero nell'atmosfera, inoltre è così leggero che sfuggirebbe dal campo gravitazionale terrestre

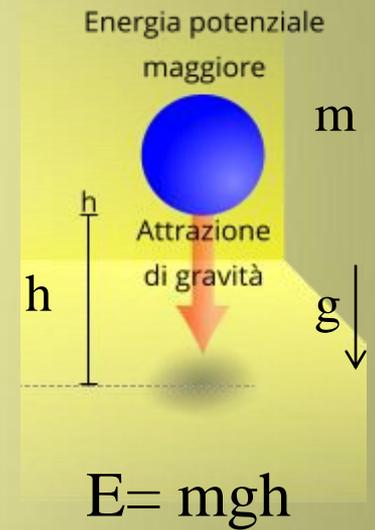


Molecola di anidride carbonica CO₂, molto stabile, ha poca energia disponibile

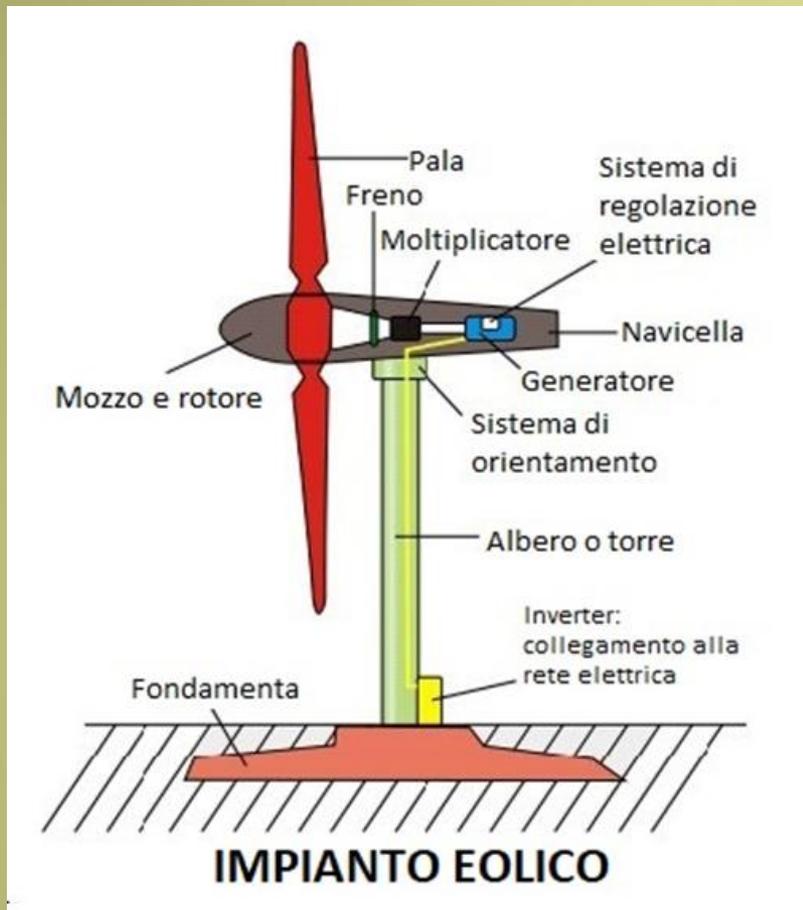
Energia Potenziale : è l'energia posseduta da un corpo grazie alla massa (m) sua posizione (h), ad esempio quella dall'acqua nei bacini di montagna che spinta in una condotta fa muovere le pale di una turbina e quindi un motore elettrico.



Altri impianti



Energia idroelettrica



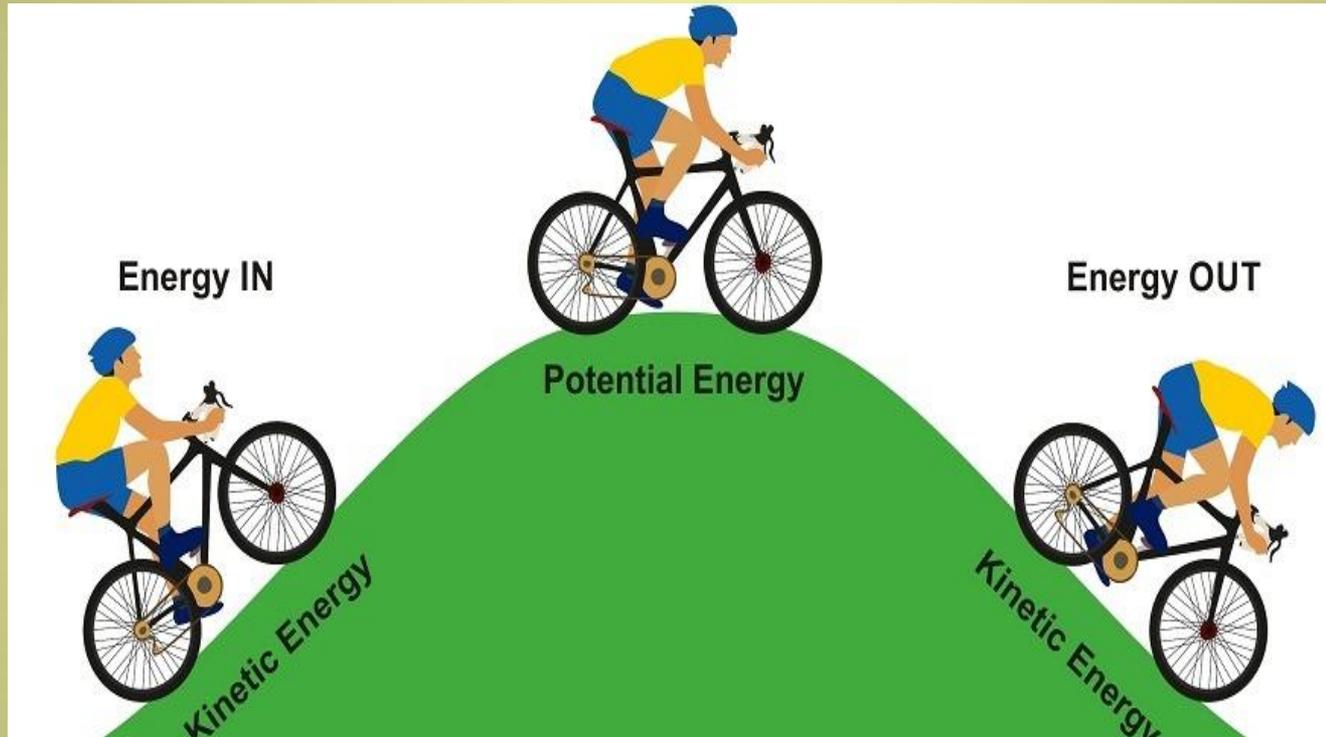
Energia Cinetica: è quella posseduta da un corpo in movimento. Tanto più velocemente (v) si muove, e quanto maggiore è la sua massa (m), tanto maggiore è l'energia. Es. quella del vento che colpendo le pale eoliche provoca la produzione di energia elettrica

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$



La massa di 1 m^3 di aria è circa $1,2 \text{ kg}$. La massa di 1 m^3 d'acqua è 1000 kg . La massa di un camion è ad esempio di $50\,000 \text{ kg}$ (50 tonnellate)

Conservazione dell'Energia (?): l'energia cinetica si trasforma in potenziale e viceversa. Ma se non pedalo, dopo la discesa, mi fermo



Dove è andata a finire l'energia?

Nel calore per attrito sulla strada e nell'aria per vincerne la resistenza aerodinamica

Energia Solare: quella che arriva tramite la radiazione elettromagnetica: riscalda (solare termico) e produce variazione di livello degli elettroni nei semiconduttori (solare fotovoltaico)

In casa

Solare termico

$$E = Q$$



In impianti di produzione

Solare fotovoltaico

$$E = h f$$

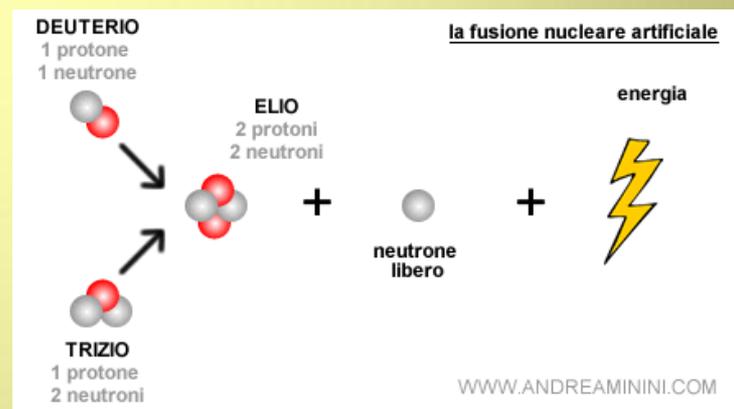
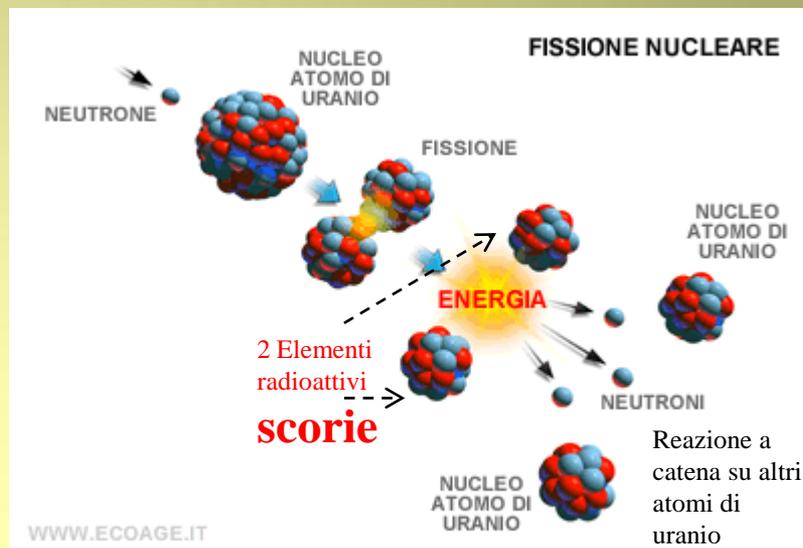
Energia Nucleare:

esiste di due tipi:

- FISSIONE, quella all'interno di un atomo grande tipo **Uranio**, che (bombardato opportunamente) si scinde.

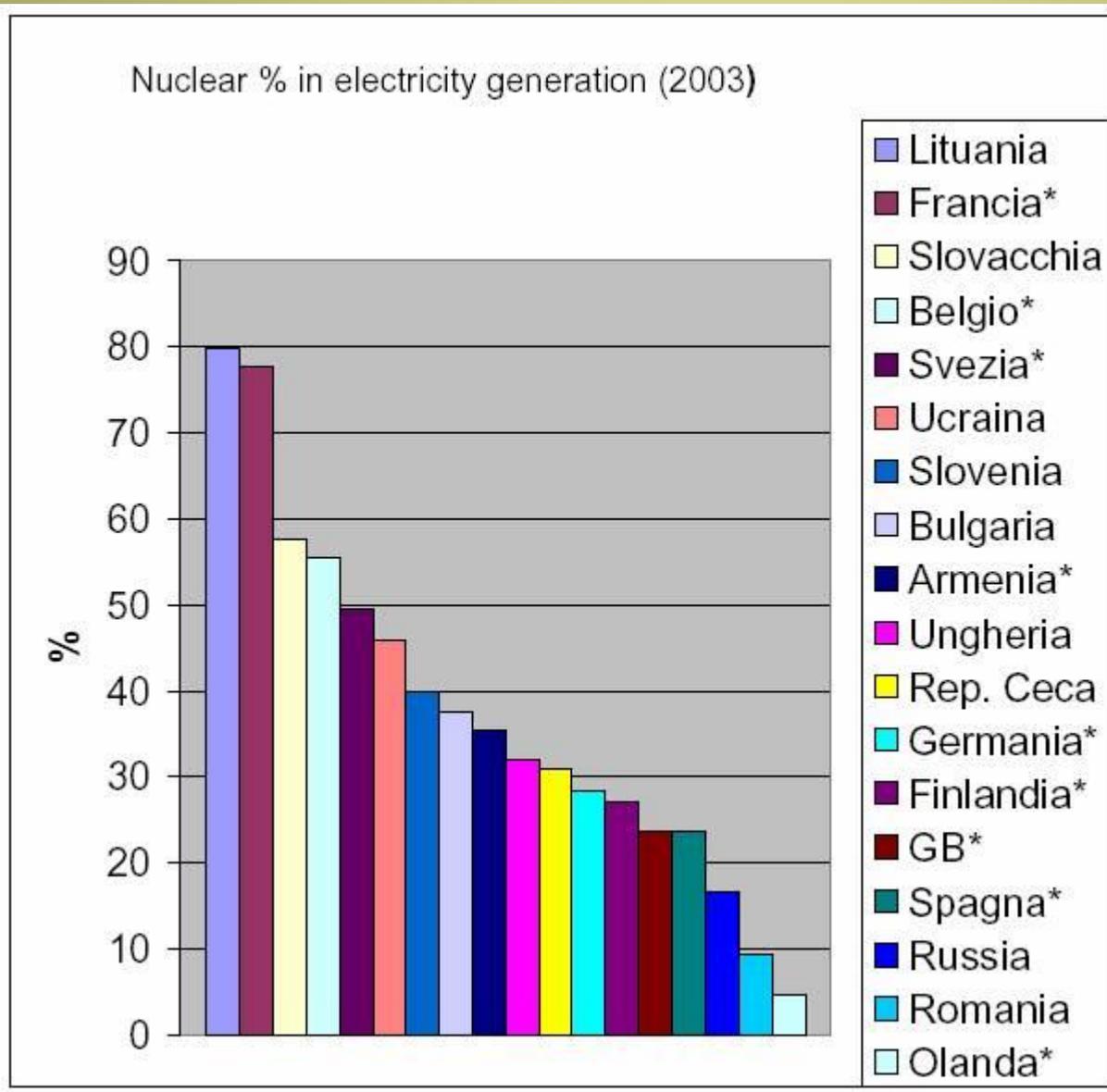
- FUSIONE dovuta ad atomi piccoli che si fondono insieme (Idrogeno che unendosi dà elio, come accade nel **sole**).

NB. Il deuterio ed il trizio sono due isotopi dell'idrogeno
In rosso i protoni in azzurro-grigio i neutroni



Quota di energia nucleare in Europa

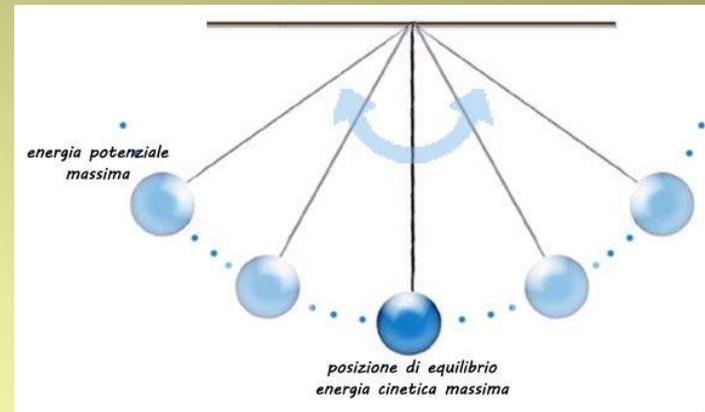
*E' molto dibattuto se considerarla energia "verde" o no
Non dà effetto serra , non è rinnovabile ma ce n'è per secoli
Non emette gas ma ha scorie radioattive*



3. Come si può sfruttare il calore per ottenere lavoro ed energia

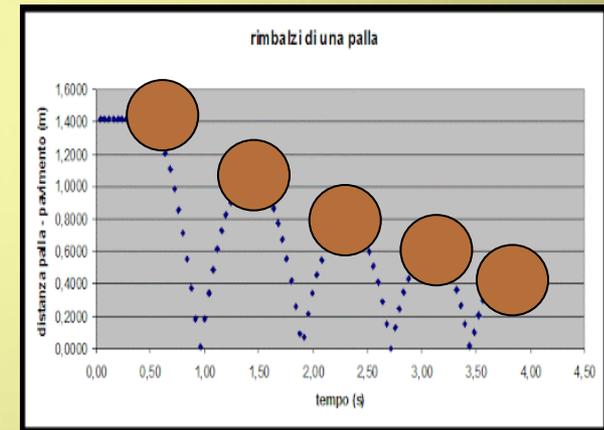
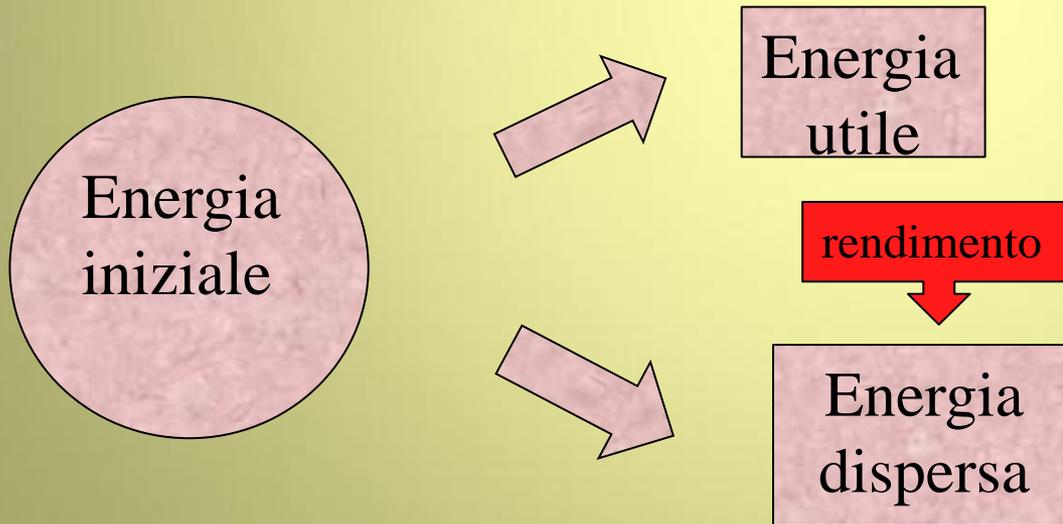
RENDIMENTO

Nel caso del pendolo la carica dura molti giorni: **alto rendimento**



Ogni trasformazione di energia da una specie all'altra, sottostà ad una perdita che diminuisce l'energia disponibile. In pratica c'è una **tassa energetica** da pagare per avere l'energia che voglio: come per cambiare valuta quando vado all'estero.

Purtroppo questa **tassa** è spesso molto alta



Come abbiamo visto nel caso della [bici](#) o in una palla che rimbalza l'energia si esaurisce in breve tempo e alla fine non mi rimane nulla. **Basso rendimento.**

Scopo dell'energia

In genere tutte le trasformazioni viste servono a due scopi:

- **Fare muovere un oggetto** (veicoli, sollevare un carico, macinare qualcosa, portare acqua nelle tubazioni ...). **Usata fin dai tempi antichi:** schiavi, animali, mulini
- **Produrre elettricità** con cui ... fare le stesse cose di prima, ma anche raffreddare, riscaldare, illuminare
(da fine 800 con la seconda rivoluzione industriale)

Secondo principio della termodinamica

Abbiamo già capito che l'energia tende a degradare man mano nella forma meno nobile: il **calore**.

(ovviamente il secondo principio è più complesso e parla di entropia, ma per il nostro scopo quanto affermato è ciò che ci serve e sostanzialmente corretto)

- Il calore viene prodotto tramite gli **attriti** quando passiamo da una forma di energia all'altra.
- Il calore è il prodotto finale di una **combustione**, ma anche di una frenata (che avviene per attrito)



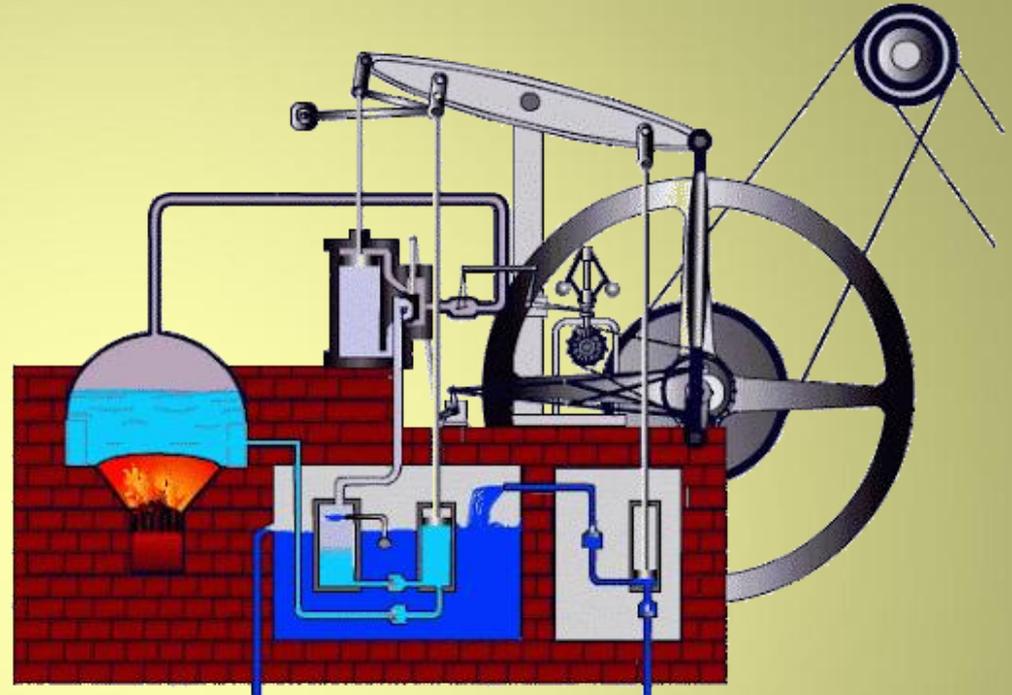
Si può, sfruttando il calore prodotto, rimettere l'auto in movimento o dai prodotti della combustione riottenere la legna? vediamo

È molto difficile trasformare il calore in lavoro...

Cicli termodinamici

Mentre è facile passare da altre forme di energia al calore, è molto difficile ottenere energia dal calore:

Ci si è riusciti solo a fine 1700 con **James Watt** che inventò la macchina a vapore (dando inizio alla **prima rivoluzione industriale** con le fabbriche e i treni a vapore)



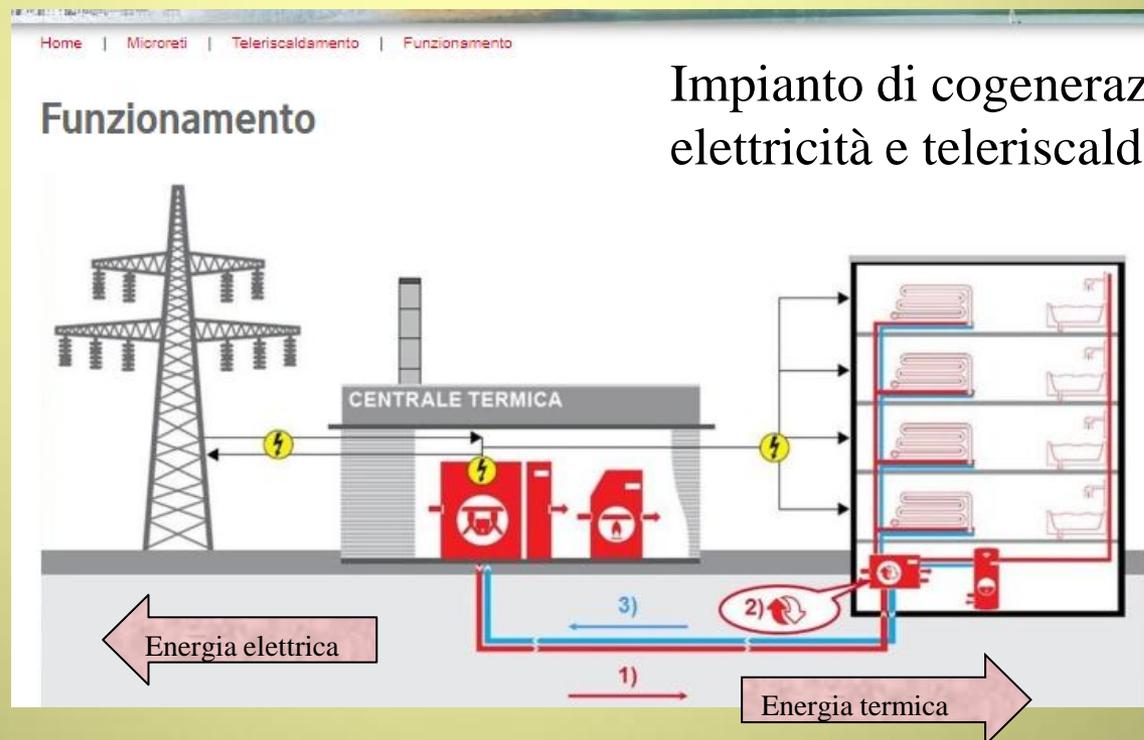
Nel bollitore, l'acqua in pressione bolle a 300°C. Il vapore prodotto muove il cilindro producendo il moto della ruota (o azionando un motore elettrico) e viene condensato nel refrigerante. Il vapore condensato con acqua a 70°C passa nel bollitore. L'acqua (blu) usata per il raffreddamento è ancora calda ed è usata per il teleriscaldamento

Calcolo
rendimento

Sviluppando questo principio (modificato nel ciclo Rankine) si sono costruite dal 1900 in poi tutte le centrali termoelettriche e dal 1950 le centrali nucleotermoelettriche. **Per sfruttare l'acqua di scarto** come riscaldamento per le case, le centrali devono essere sufficientemente vicine alle città.

Il vapore d'acqua

Riscaldamento case



Le centrali sono costruite vicino a mari e fiumi per avere acque di raffreddamento. Sopra i 30° l'acqua calda è considerata inquinante per i fiumi (sottrae ossigeno ai pesci) ed allora per raffreddarla si ricorre alle torri di evaporazione.



Il reattore nucleare è quello piccolo tondo in basso, le torri, alte anche 100 m servono solo a raffreddare l'acqua. Quello che esce è innocuo (quasi) vapore acqueo

Il calore è trasformato in lavoro anche nei cicli Otto (motore a Benzina) e Diesel di fine 1800 con i motori a combustione interna sviluppati per le automobili.

Questi cicli termodinamici hanno dei **rendimenti limitati** (cioè non tutto il calore può essere trasformato in energia meccanica) che sono

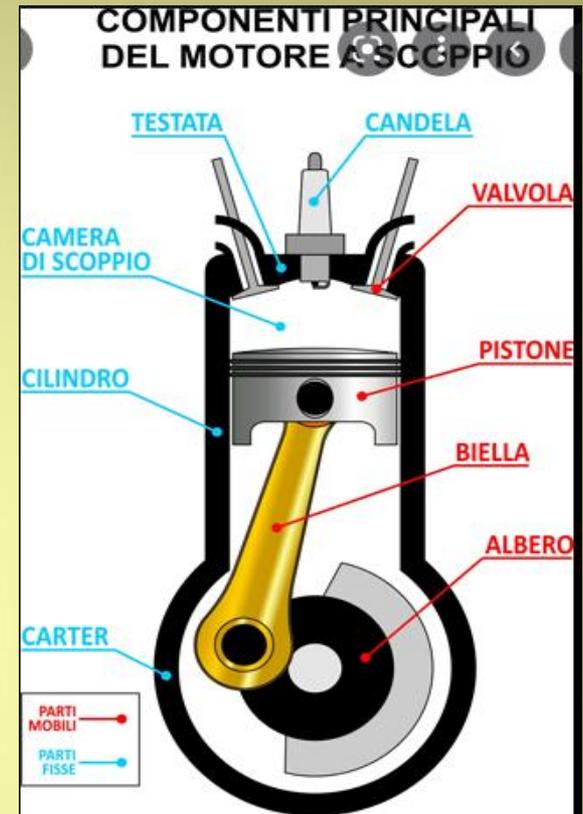
Ciclo Watt- Rankine (macchina a vapore con cui è prodotta l'elettricità) 55-60% da cui Auto elettrica* (rendimento 50-55%)

Ciclo Otto (motore a benzina) 28%

Ciclo Diesel (motore a gasolio) 35%

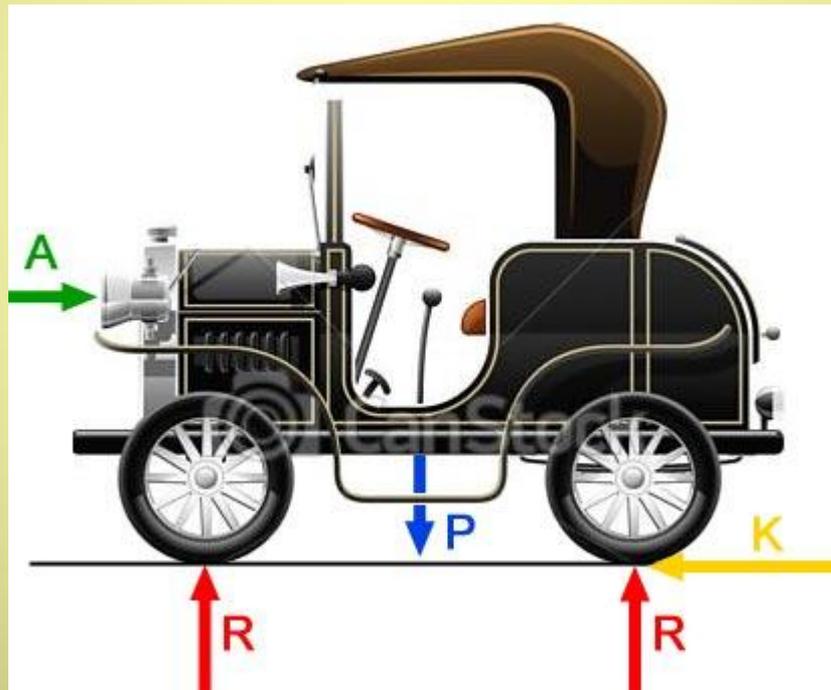
Un primo punto a favore dell'auto elettrica

*Il motore elettrico ha rendimento molto alto 85-98%



Quindi molta energia va sprecata

4. L'automobile



Il consumo per un'automobile

Un opportuno **stile di guida** può fare moltissimo riguardo al consumo di energia di un'automobile.

Il consumo dipende principalmente da:

- **Rendimento del motore** che si ha con la giusta marcia a giusta velocità (optimum tra 2000 e 4000 giri al minuto). Rendimento massimo quello dei cicli termodinamici
- **Resistenza dell'aria**: il consumo dipende dal quadrato della velocità
- **Accelerazioni**: evitare brusche accelerazioni e brusche frenate. Dipende anche dalla massa (peso) dell'auto
- **Attrito dei pneumatici**: avere pneumatici gonfiati alla giusta pressione (controllare dopo qualche mese). Dipende dalla massa(peso) dell'auto
- **Attriti meccanici**: avere olio corretto e non troppo vecchio
- **Accessori elettrici** (fari, autoradio, navigatore, condizionatore) non dipende né dalla velocità, né dalla massa

Calcola il consumo

Rendimento per i veicoli con motore a combustione interna

Per i veicoli a combustione interna il lavoro è dato dalla differenza di pressione fra carico e scarico del gas nei/dai cilindri (**rapporto di compressione** che è intorno a otto), moltiplicato per il volume che è quello dei **cilindri dell'auto**. Più alto è il rapporto di compressione maggiore è il rendimento, ma per avere alti rapporti di compressione bisogna mettere nelle benzine degli **additivi antidetonanti** (nella benzina super si metteva piombo tetraetile, poi, tolto il piombo più benzene, ora MTBE).

E' chiaro che maggiori sono:

- la cilindrata del veicolo
- il peso dell'auto
- le prestazioni

maggiori sono la potenza e il consumo dell'auto (ma fortunatamente non crescono in modo proporzionale).

Il ruolo degli pneumatici

Gli pneumatici incidono per un 20' % sul consumo totale di carburante (di più percentualmente a basse velocità, di meno ad alte velocità) e si scaldano durante il loro utilizzo. Per consumare di meno (come per andare più forti in bicicletta) è necessario che:

- gli pneumatici siano ben gonfi (controllare a freddo). Maggiore pressione dà migliore tenuta di strada, minor consumo ma meno confort.

- I pneumatici vecchi ed usurati** (in formula 1 hanno pneumatici **lisci**) consumano di meno di quelli nuovi che invece tengono la strada molto meglio evitandoci l'acquaplaning (perdita aderenza sul bagnato). I pneumatici termici (che contengono silice e lamelle che si riscaldano per attrito reciproco) fanno consumare più carburante.

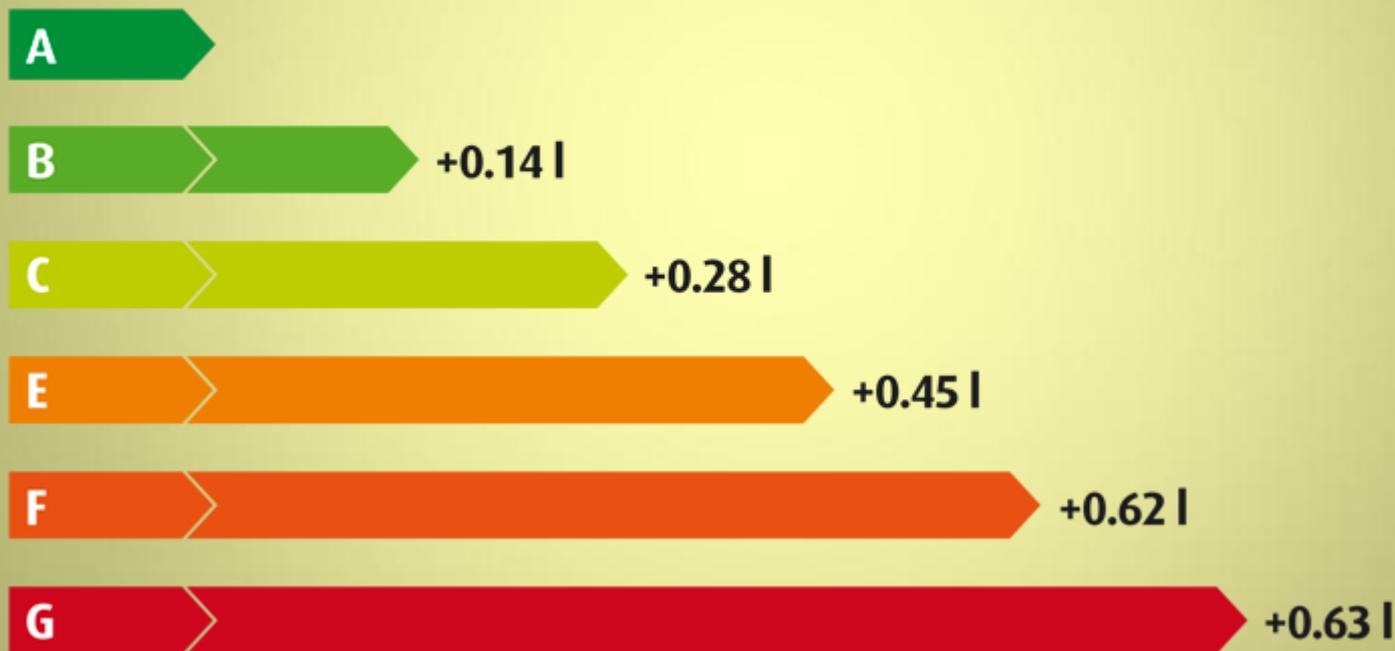
- Le mescole per battistrada più morbide hanno miglior tenuta di strada, migliore frenata ma provocano maggior consumo di carburante e hanno maggiore usura (fanno meno chilometri)

Tenuta sul bagnato a diverse velocità e con diversa profondità incavi



SPESSORE BATTISTRADA \ VELOCITA'	1,6 mm	4 mm	8 mm
5 km/h	 AREA 100%	 AREA 100%	 AREA 100%
75 km/h	 AREA 16%	 AREA 58%	 AREA 74%
125 km/h	 AREA 6%	 AREA 11%	 AREA 47%

In un anno (supposto 15000 km percorsi), il risparmio di carburante tra uno pneumatico appartenente alla classe migliore energetica ed uno appartenente a quella peggiore ammonta a circa 90 litri. Durante l'intera vita di uno pneumatico (supposto 40 000 km) questa quantità equivale a cinque pieni (240 litri) = 360 €. Se si tiene conto che 4 pneumatici costano intorno ai 400 €





autovehicle.info



Potenza 21,5 CV

45 CV

69 CV

Massa 585 kg

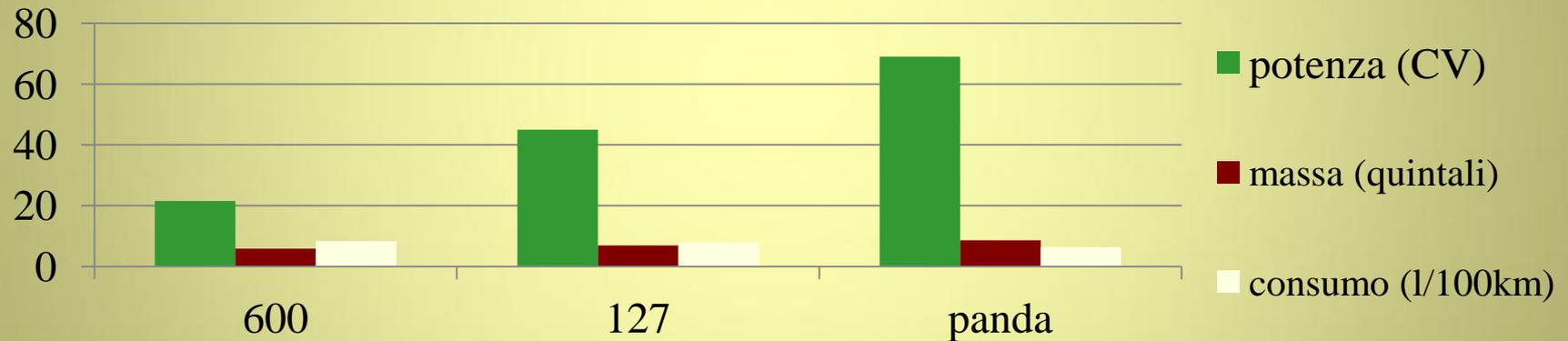
688 kg

860 kg

Consumo (Ciclo urbano) 8,3 litri/100 km

7,8 litri/100 km

6,3 l/100km



Un'auto piccola e leggera è però meno sicura e la Panda pesa 900 kg contro i 600-700 kg della 127 e della Fiat 600. Il consumo però non è cresciuto in maniera proporzionale alla potenza perché non sempre si adoperano tutti i cavalli disponibili e, negli anni, sono migliorati tantissimo i rendimenti a parità di prestazioni

La resistenza aerodinamica

La forza di attrito dell'aria è data dall'espressione

$$F = \frac{1}{2} d C_x A v^2$$

Dove d è la **densità dell'aria** (circa $1,2 \text{ kg/m}^3$). La densità dell'aria dipende anche dalla temperatura e dalla umidità

C_x è il **coefficiente aerodinamico** per le auto circa $0,3$ le sportive anche di meno

A è l'**area facciale del veicolo** (grande per bus = 10 m^2 , piccola per auto sportive basse $1-2 \text{ m}^2$, $2,5$ per la mia Panda) non bisogna avere carichi inutili sul tetto né finestrini aperti.

v è la **velocità al quadrato** espressa in m/s ed è il fattore che incide maggiormente

Il consumo di carburante aumenta quasi col quadrato della velocità

Consumo (litri di benzina per 100Km)



**Per brevi tragitti,
andiamo a piedi o in
bici!**

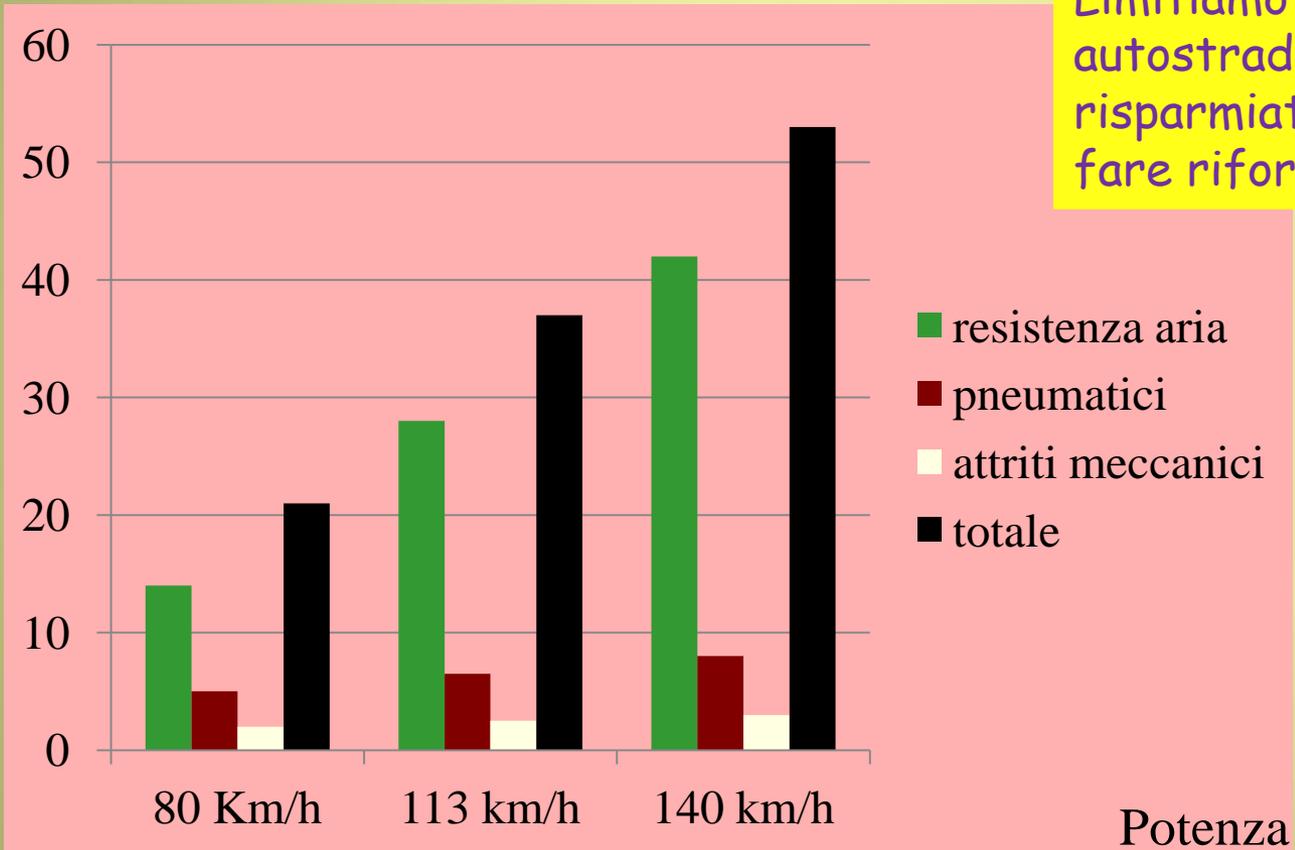
Ma non si creda che a bassissime velocità si consumi sempre di meno. Sotto i 2000 giri/minuto scende il rendimento del motore, e i consumi dovuti all'attrito ed alle apparecchiature elettriche (che sono costanti) acquistano maggior peso percentuale. Zone 30 Km/h e ricerca del posto di parcheggio provocano grandi consumi ed emissione inquinanti. Al limite, **fermi al semaforo** seppure al minimo consumiamo carburante, ma essendo lo spostamento nullo, **il consumo chilometrico è infinito**

Il tutto è calcolato per motori caldi ($T_{\text{acqua}} = 80^{\circ}\text{C}$). Per i primi 3-4 km (fino a 10!) con motore freddo il consumo di carburante è molto maggiore e spesso il nostro spostamento urbano non è molto più lungo.

Energia (in kWh) necessaria per percorrere 100 km a diverse velocità

È **evidente il risparmio di carburante** a minore velocità, anche se per fare lo stesso percorso a maggiore velocità impiego meno tempo.

Limitiamo la velocità in autostrada. Parte del tempo risparmiato è poi speso per fare rifornimento!!



Potenza = Forza x velocità
Consumo = Potenza x tempo

Consumo di carburante contro sicurezza

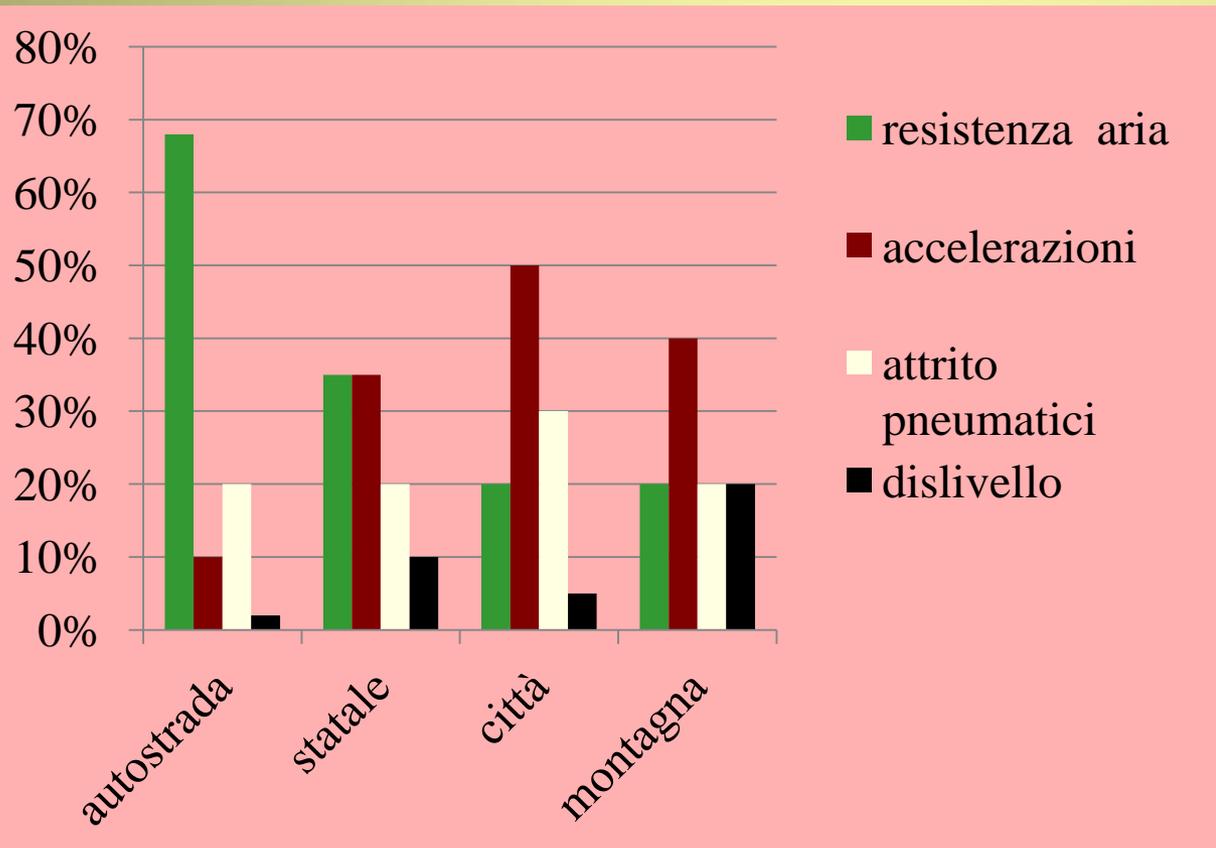
Abbiamo visto che talvolta le condizioni per avere minore consumo di carburante sono il contrario di quelle necessarie per avere **maggiore sicurezza**. ricordiamo:

- Zona 30 km/h
- Peso autovettura
- Spessore del battistrada e rigidità mescola

A mio giudizio che pur trovando un giusto compromesso, deve prevalere la sicurezza

Ripartizione possibili consumi auto in diverse condizioni di guida.

Dappertutto lo stile di guida e il peso dell'auto, influenzano il consumo nelle accelerazioni. Quanto è consumato di più in salita spesso si può recuperare con una accorta guida in discesa (su questo punto, come nelle frenate in città esistono oggi nuovi dispositivi di recupero)



PREMIO GUIDA

VIRTUOSA Per auto

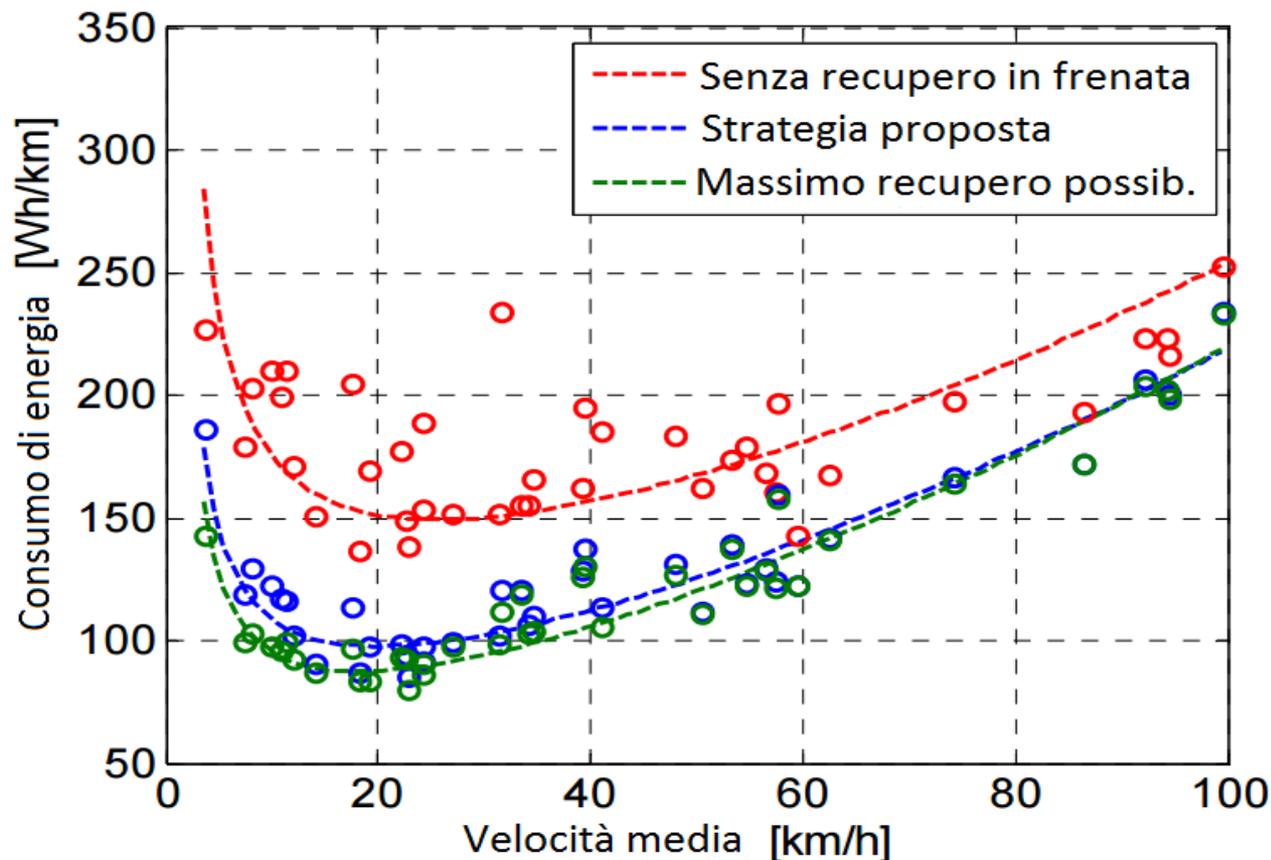
vecchie con scatola nera è previsto da alcune regioni (fra cui il Piemonte) bonus chilometrico del 10% se velocità < 110 km/h in autostrada e accelerazioni < 2 m/s² cioè almeno 5 secondi per passare da 0 a 36 km/h

<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/move-monitoraggio-dei-veicoli-inquinanti>

È già un bel progresso rispetto a chi guardava il numero di targa pari o dispari ...

Recupero energia in frenata (o discesa)

Il recupero ovviamente dipende dal tipo di percorso effettuato



World Electric Vehicle Journal Vol. 6 - ISSN 2032-6653

<http://www.evs24.org/wevajournal/php/download.php?f=vol6/WEVJ6-1-014.pdf>

A 70 km/h
senza recupero
consumo
200 Wh/km cioè
20 kWh/100 km
Con il recupero
in frenata e
discesa
consumo il 15%
in meno
(17Wh/km) e ho
il 15 % in più di
autonomia .

*Più facile per auto
elettriche ma
possibile anche
per altre
alimentazioni*

Combustibili utilizzabili per motori endotermici

Per i veicoli possiamo utilizzare:

1. Benzina (approssimativamente $C_8 H_{18}$)
2. Gasolio (approssimativamente $C_{16} H_{32}$)
3. GPL (gas propano liquefatto, approssimativamente $C_3 H_8$)
4. Metano(CH_4)
5. Etanolo (eventualmente rinnovabile ma problemi etici perché la coltivazione delle piante che danno etanolo sottrae terreno per il grano)
6. Metanolo (CH_3OH)? (proposto per consumare anidride carbonica reagendo con idrogeno, ma l'idrogeno da dove si prende?)
7. H_2 che però non esiste in natura, bisogna produrlo con grande dispendio di energia

vedi

Reazione di
combustione

Più la molecola è piccola meglio brucia (quindi vantaggio per idrogeno, metano, gpl) e produce meno particolato. Meno Carbonio contiene la molecola (idrogeno e in parte metano) meno anidride carbonica produce e meno problemi si hanno per l'effetto serra.

Ricordo che il demonizzato ciclo **diesel** (funziona solo con gasolio) è comunque quello che dà migliore rendimento (35% contro 28% del benzina) inoltre è un motore più robusto e dura un maggior numero di chilometri

In conclusione i vari combustibili non hanno tantissima differenza quanto ad emissione di anidride carbonica

	Fiat Panda	Consumo	Emissioni di CO₂
Formula			
C ₈ H ₁₈	1.2 alimentato a benzina	5,6 l/100 km	133 g/km
•C ₃ H ₈	1.2 alimentato a Gpl	7,2 l/100 km	116 g/km
•CH ₄	1.2 alimentato a metano	4,1 kg/100 km	113 g/km
•C ₁₆ H ₃₂	1.3 a gasolio	4,3 l/100 km	114 g/km (rendimento migliore ma più C)

Il metano è un gas e non è misurato in litri di carburante liquido, con più difficile confronto

Auto elettrica

In mancanza di una produzione di elettricità con energia rinnovabile, l'auto elettrica sposta solo il problema della produzione di anidride carbonica e di inquinamento.

C'è comunque un **vantaggio**: **Il rendimento della produzione di elettricità (ciclo Rankine a vapore e poi motore elettrico) è circa il doppio (50-55%) rispetto a quello del motore a combustione interna (25-30%).**

Però mentre la benzina non si consuma lasciandola nel serbatoio, la batteria non usata si scarica leggermente nel tempo.

Problemi sono:

1. la lentezza della ricarica, 10 h senza una apposita colonnina dove il tempo si può ridurre a poche decine di minuti con la ricarica veloce.
2. La limitata autonomia, funzione dello stile di guida e che può andare da 100 a 300 km
3. Il prezzo di una batteria al litio è oggi di 200 dollari/kWh in diminuzione di 25 volte rispetto a 30 anni fa, ma ancora alto (6000-10000 dollari per una berlina)
4. La difficoltà di rigenerare la batteria e recuperare i preziosi materiali di cui è costituita (sembra per ora recuperati solo al 10%)

Ovviamente nell'auto elettrica non c'è recupero di calore per il riscaldamento abitacolo e quindi si consuma la batteria. **Punto a favore dell'auto termica** che recupera il calore del motore

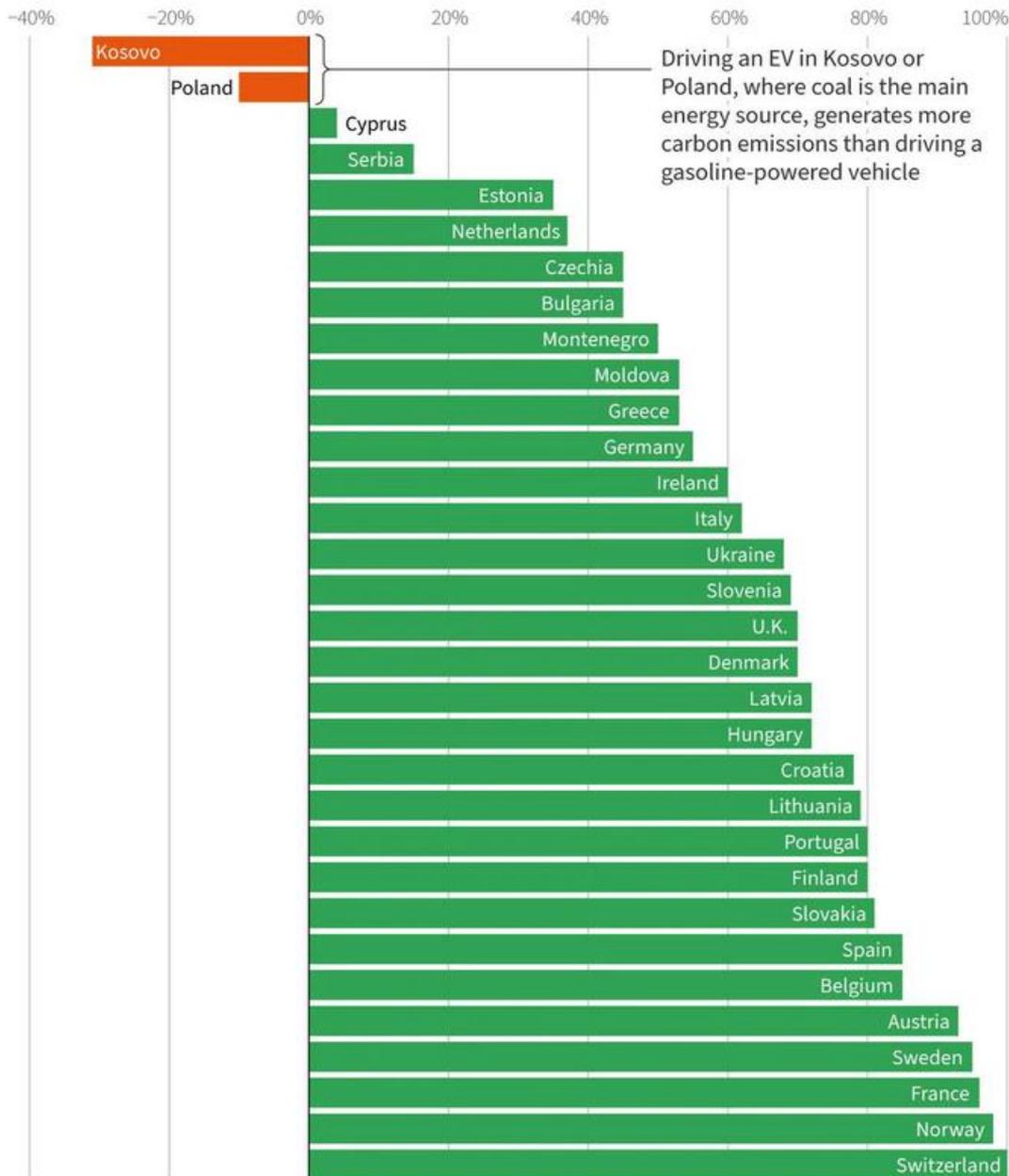
Calcolo
autonomia
batteria

Calcolo per
bici
elettrica

Autonomia con
condizionamento
acceso

Carbon emissions avoided by choosing an electric vehicle

Percent reduction in carbon emissions across the European Union when opting for an electric vehicle over a petroleum vehicle



Elettrico = auto a zero emissioni?
Vero solo per la **Norvegia**

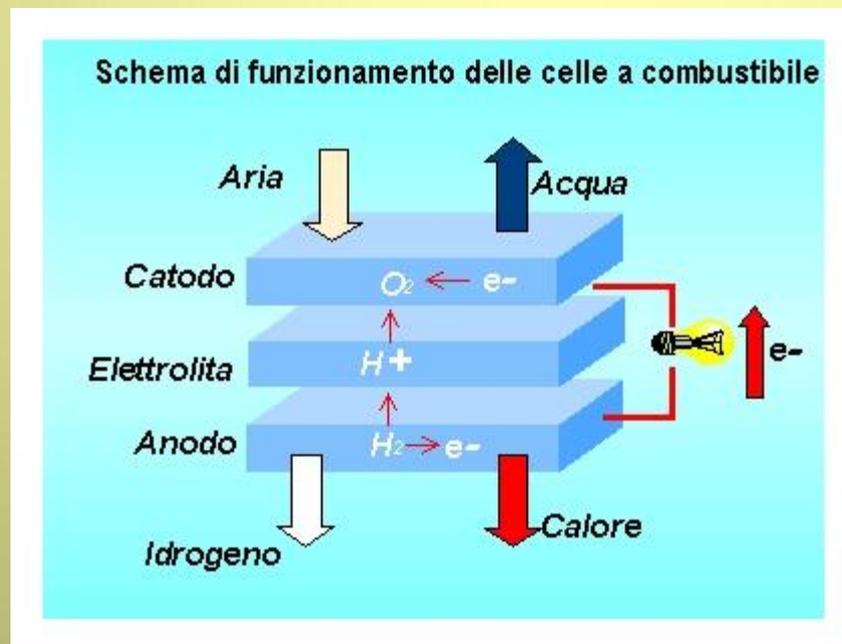
Il minore/maggiore inquinamento dipende da come è prodotta l'energia elettrica nelle varie nazioni

(nel calcolo si tiene già conto del vantaggio del rendimento nella produzione elettrica rispetto al motore endotermico)

L' idrogeno è una risorsa per i motori?

Pregi:

- ottima combustione (addirittura troppo), è esplosivo in vaste miscele con l'aria (in concentrazioni dal 17 al 56%) ; il metano è esplosivo per concentrazioni fra il 5 e il 15%
- Non produce sostanze tossiche né climalteranti, ma solo acqua (poca rispetto a quella presente nell'aria).
- Può combinarsi con l'ossigeno nelle **celle a combustibile** producendo energia elettrica ad alto rendimento (90%) senza combustione e quindi senza produrre ossidi di azoto



V= 1,2 Volt

Difetti

- L'idrogeno è un gas, liquido solo sotto i -249°C ,
- Gassoso occupa molto spazio e deve essere compresso a pressioni altissime per averne una modesta quantità : un serbatoio di 10 litri compresso a 700 atmosfere contiene solo 580 grammi di idrogeno e pesa per il metallo un centinaio di kg
- È così piccolo che penetra anche attraverso i metalli e infragilisce anche l'acciaio

• Per produrlo si utilizzano carbone o metano reagiti con acqua, reazioni che danno come **sottoprodotto ossido di carbonio e anidride carbonica**, analogo a quanto emesso da un'auto a benzina

• Può essere prodotto (molto puro) anche attraverso l'elettrolisi dell'acqua stessa. Ma per l'elettrolisi si consuma **circa il doppio dell'energia che poi l'idrogeno restituisce durante il suo utilizzo** e un quarto rispetto al combustibile utilizzato per produrre elettricità

Rendimento finale 20-25%

ELETTROLISI DELL'ACQUA (IDROLISI)

Al Catodo (-)
I cationi H^+ vanno al catodo, acquistano un elettrone e^- e diventano H_2 molecolare

$$4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2$$

All'Anodo (+)
Gli anioni OH^- vanno all'anodo, cedono un elettrone e^- e diventano acqua ed O_2 molecolare

$$4\text{OH}^- - 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$$

Reazione finale:

$$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$$

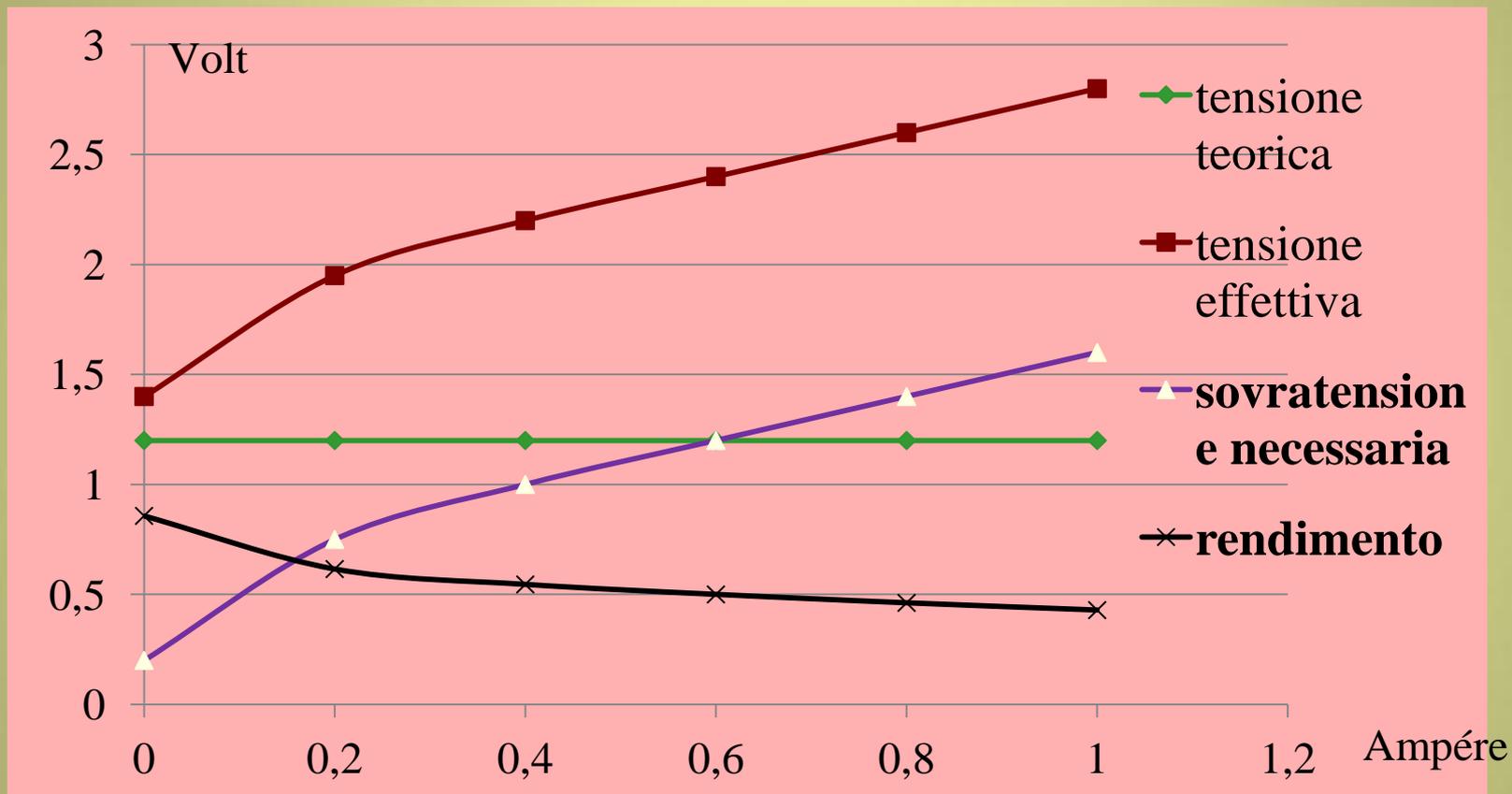
LBR
LOGO SBAIARIA RECORDS
EXPERIMENT
SALIZADA, L'ESPERIMENTAZIONE
LBRhome.altervista.org

Con l'auto elettrica si ha maggior rendimento, il peso della batteria è sostituito da quello delle bombole

$V = 2 \text{ Volt}$

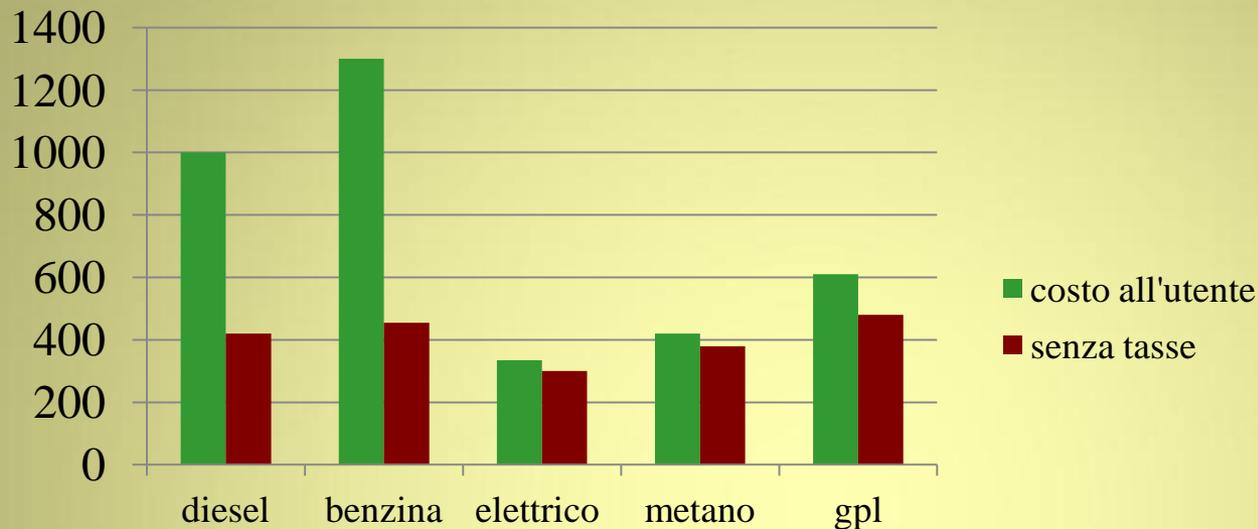
Sovratensione

Voltaggio necessario (causa sovratensioni di elettrodo) nell'elettrolisi per produzione idrogeno (teorico 1,2 Volt)



Solo con bassissime produzioni si hanno buoni rendimenti

Confronto costi di esercizio per la mobilità veicolare

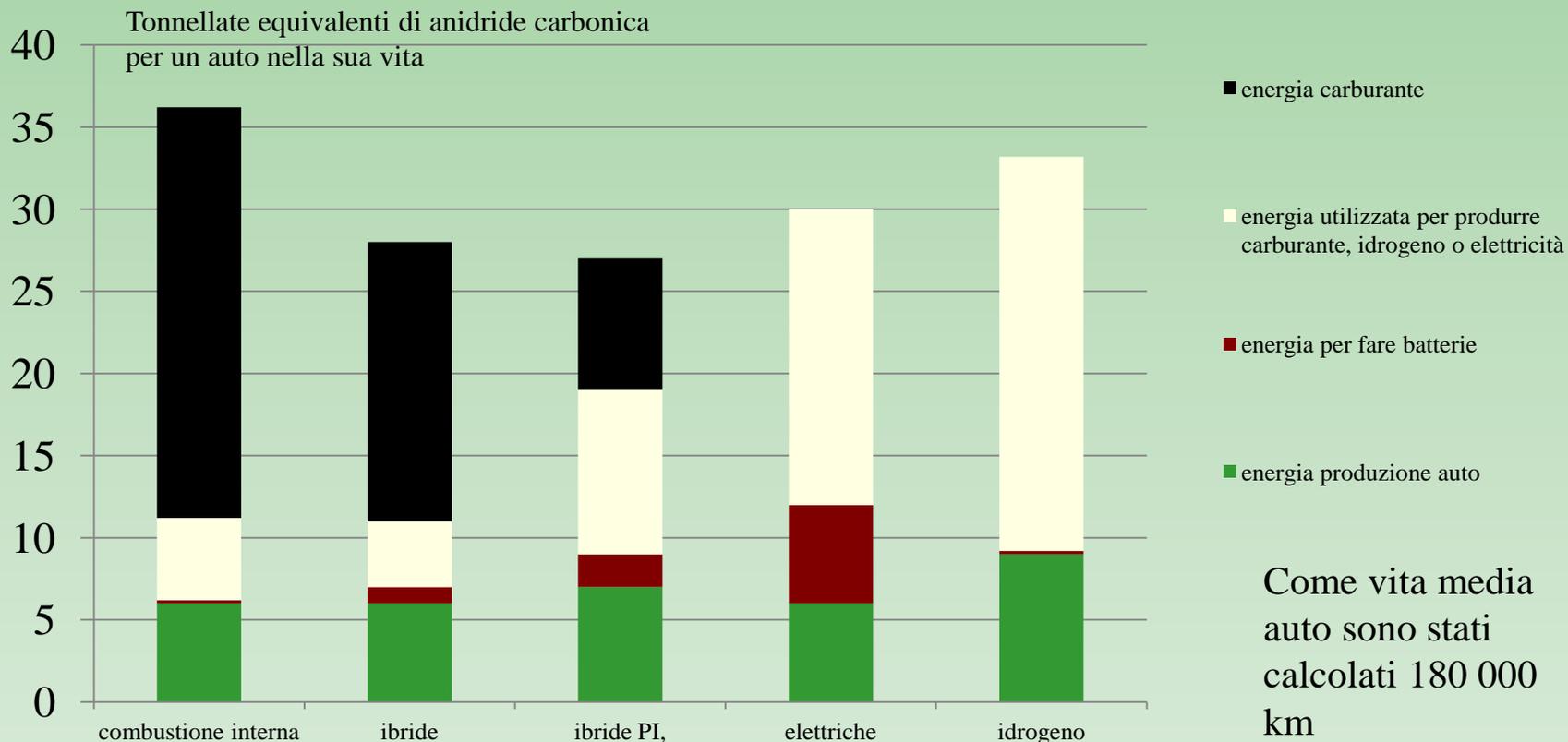


*Ricordo che sui costi influisce molto il livello di tassazione che è circa 65% sul litro di benzina, 58% sul litro di gasolio, molto meno su gpl e metano
Elettrici senza contatore aggiuntivo*

Altri parametri	Auto diesel benzina	Auto a metano	Auto elettrica
kWh per un pieno	400-500	200-300	30-50
Peso carburante/bombola/batteria	30 -40 Kg	150 kg	250-380 kg
Tempo rifornimento	2 minuti	10 minuti	minimo 20 minuti

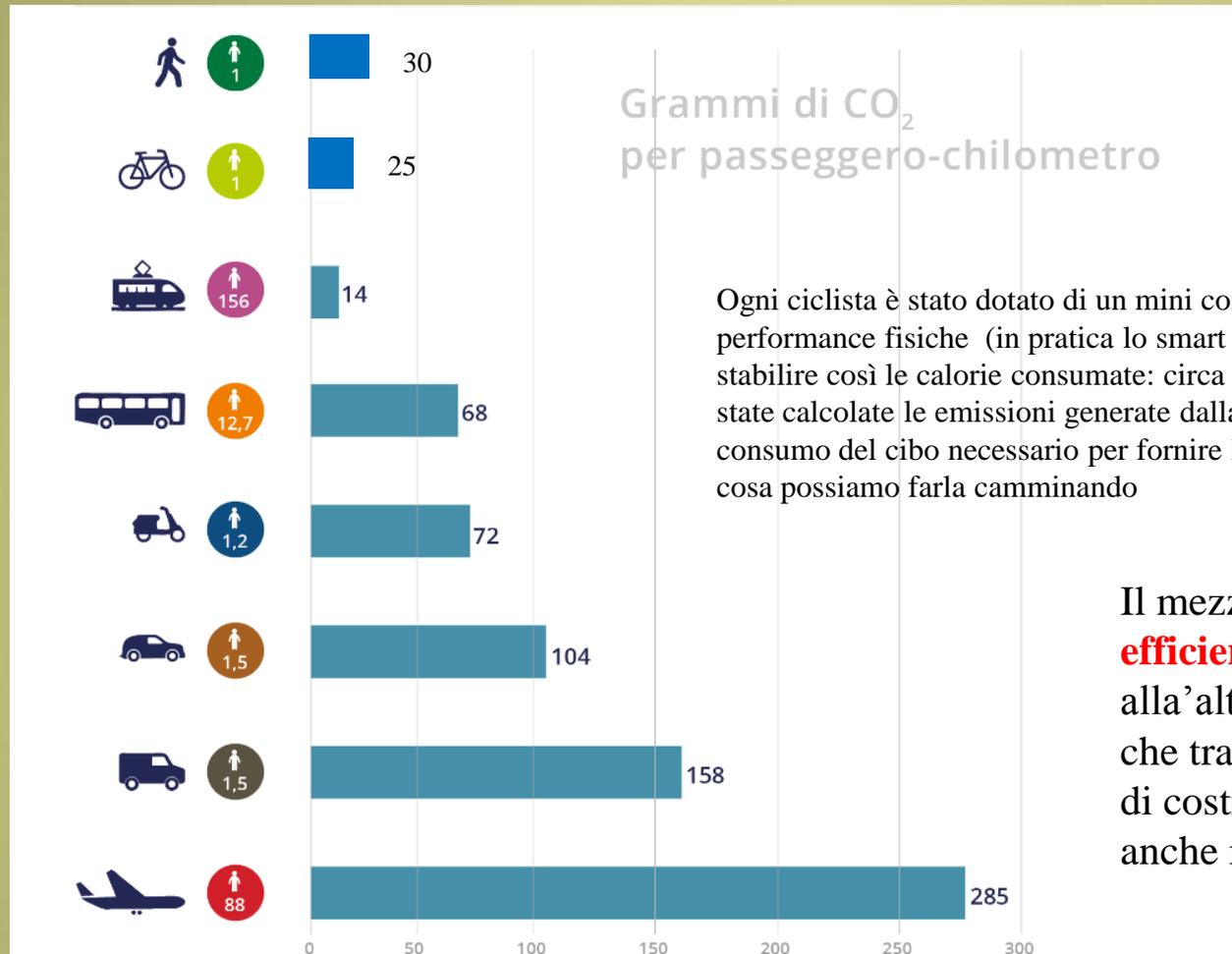
Quanta energia è necessaria per la produzione di un automobile, batterie, accessori.?

L'impatto ambientale di un automobile infatti non si valuta solo guardando il consumo chilometrico, ma bisogna considerare l'intero ciclo produttivo (si calcola che per produrre un autoveicolo occorrono mediamente 450.000 litri d'acqua e 15.000 kwh di energia che è l'energia fornita da circa 3000 litri di carburante che è quello necessario per fare circa 50000 km. Dati molto diversi a seconda degli studi.)



L'**auto ibrida** elettrica **plug-in** è una macchina a metà strada tra un veicolo elettrico e un **ibrido** leggero (che ricarica la batteria col motore termico), con caratteristiche di tutte e due le tipologie di vetture. ... Il significato di **plug-in** indica proprio la possibilità di ricaricare l'**auto**, collegando la batteria con una presa elettrica.

Consumo energetico per i mezzi di trasporto



Ogni ciclista è stato dotato di un mini computer in grado di misurare le performance fisiche (in pratica lo smart watch che hanno molti di noi) e di stabilire così le calorie consumate: circa 20 kcal/km, (io di più). Poi sono state calcolate le emissioni generate dalla produzione, distribuzione e consumo del cibo necessario per fornire le calorie aggiuntive ...la stessa cosa possiamo farla camminando

Il mezzo di trasporto più **efficiente è il treno**, grazie alla'alto numero di passeggeri che trasporta. Purtroppo il costo di costruzione e infrastruttura è anche molto elevato.

Numero medio passeggeri per veicolo

n.b. In questa tabella non si è tenuto conto dell'energia necessaria per costruire il mezzo di trasporto

Marmitte catalitiche

Per bruciare, il combustibile ha bisogno di aria.

- Se l'aria è in difetto la reazione di combustione produce in parte CO, tossico in garage o gallerie, poco persistente perché all'aperto tende a diventare CO₂, inerte ma con effetto serra.
- Se l'aria è in eccesso l'ossigeno e l'azoto formano NO e NO₂ tossici e responsabili delle cappe arancioni che fino a qualche anno fa si vedevano sulle nostre città (ora molto meno), anche il biossido di azoto dà effetto serra.

Nelle marmitte catalitiche c'è un postcombustore che porta il CO a CO₂ e un decompositore di $2\text{NO} = \text{N}_2 + \text{O}_2$ innocui. Tutto è analizzato e regolato dalla sonda lambda.

Ovviamente nelle caldaie e nei camini delle case non ci sono sonde lambda né marmitte catalitiche ma per le caldaie ci sono sistemi per ottimizzare la combustione

Particolato emesso da motore a combustione (Diesel)

Tipi di veicoli	M1>2500 e N1 (Rif 1)	Consistenza parco autovetture al 30-06-2019*						
Valore limite massa (g/km)	euro 1	0,140	Euro 0-1		3.513.000	9.2%		
	euro2	0,080	Euro 2		3.360.720	8.8%		
	euro 3	0,050	Euro 3		5.079.000	13.3%		
	euro 4	0,025	Euro 4		10.807.000	28.3%		
	euro 5	0,005	Euro 5		7.103.340	18.6%		
	euro 6	0,005	Euro 6		8.325.420	21.8%		
			Consistenza parco circolante in relazione all'alimentazione (%): Fonte ACI-Statistiche automobilistiche.					
			Anni	Benzina	Diesel	Benzina/ GPL	Benzina/ Metano	Altro
			2000	80.4	14.7	4	0.9	0
			2010	55.6	37.8	4.8	1.8	0
			2015	49.7	41.9	5.7	2.4	0.2
			2018	46.3	44.4	6.2	2.4	0.7

Supponiamo un Diesel Euro 6 che percorre 10 000 km/in un anno: emette 50 g di particolato . Un milione di vetture sarebbero **50 tonnellate di particolato pari al volume di una stanza** alta 3 metri e di 4 m x 4 m di superficie. Se i veicoli fossero tutti Euro 4 il particolato emesso sarebbe 5 volte superiore. *(NB questi sono i valori di omologazione. In esercizio le emissioni sono superiori)*
 Ho considerato solo il diesel in quanto nel 2015 il suo contributo al particolato era il 96,5% mentre il 3% derivava dai motori a benzina e lo 0,5% dai motori Gpl

Particolato emesso da tutti i veicoli

Qualsiasi sia l'alimentazione dei veicoli questi consumano gli pneumatici, i freni, l'asfalto.

Facciamo un piccolo calcolo:

Volume consumo battistrada = $2 \text{ m} \times 20 \text{ cm} \times 5 \text{ mm} = (20 \text{ dm} \times 2 \text{ dm} \times 0,05 \text{ dm}) = 2 \text{ dm}^3$ emessi in un anno da ogni vettura (ho considerato un consumo medio di 5 mm in 4 anni e 4 pneumatici per vettura)

Considerando **1 milione di veicoli in provincia di Torino** (fra pubblici, privati e commerciali) abbiamo 2 milioni di $\text{dm}^3 = 2 \text{ dam}^3$ (*2 cubi di 10 m di lato come una palazzina di 3 piani con 2 alloggi da 100m^2 per piano*) sminuzzato in particelle sottili che viene emesso nell'atmosfera. La metà in città.

Inoltre gli pneumatici devono essere smaltiti correttamente a fine vita, e non è facile perché bruciando emettono sostanze tossiche. Si possono ricostruire ma con meno sicurezza



A questo si aggiunga il consumo dei freni (le pastiglie dei **freni** sono composte da trucioli metallici di rame, acciaio, grafite e ottone legati con resina, un tempo c'era anche amianto!) e della frizione.

Ma anche **tram e treni** producono polvere di ferro causa l'attrito delle ruote.

E anche le nostre scarpe quando camminiamo consumano la suola...



CONFRONTO NELLE EMISSIONI DI OSSIDI DI AZOTO (g/km) TRA GLI STANDARD EURO DELLE AUTO

EURO 3
2000



BENZINA

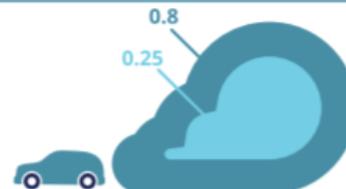


DIESEL

EURO 4
2005



BENZINA



DIESEL

EURO 5
2009



BENZINA



DIESEL

EURO 6
2014



BENZINA



DIESEL

LIMITE DI EMISSIONE EURO

MISURAZIONI REALI

Anche gli ossidi di azoto sono emessi in quantità superiore dalle auto diesel rispetto alle auto a benzina

10. Approfondimenti

In questa sezione sono riportati i calcoli a giustificazione di molte delle affermazioni fatte nella presentazione precedente

Il vapore d'acqua

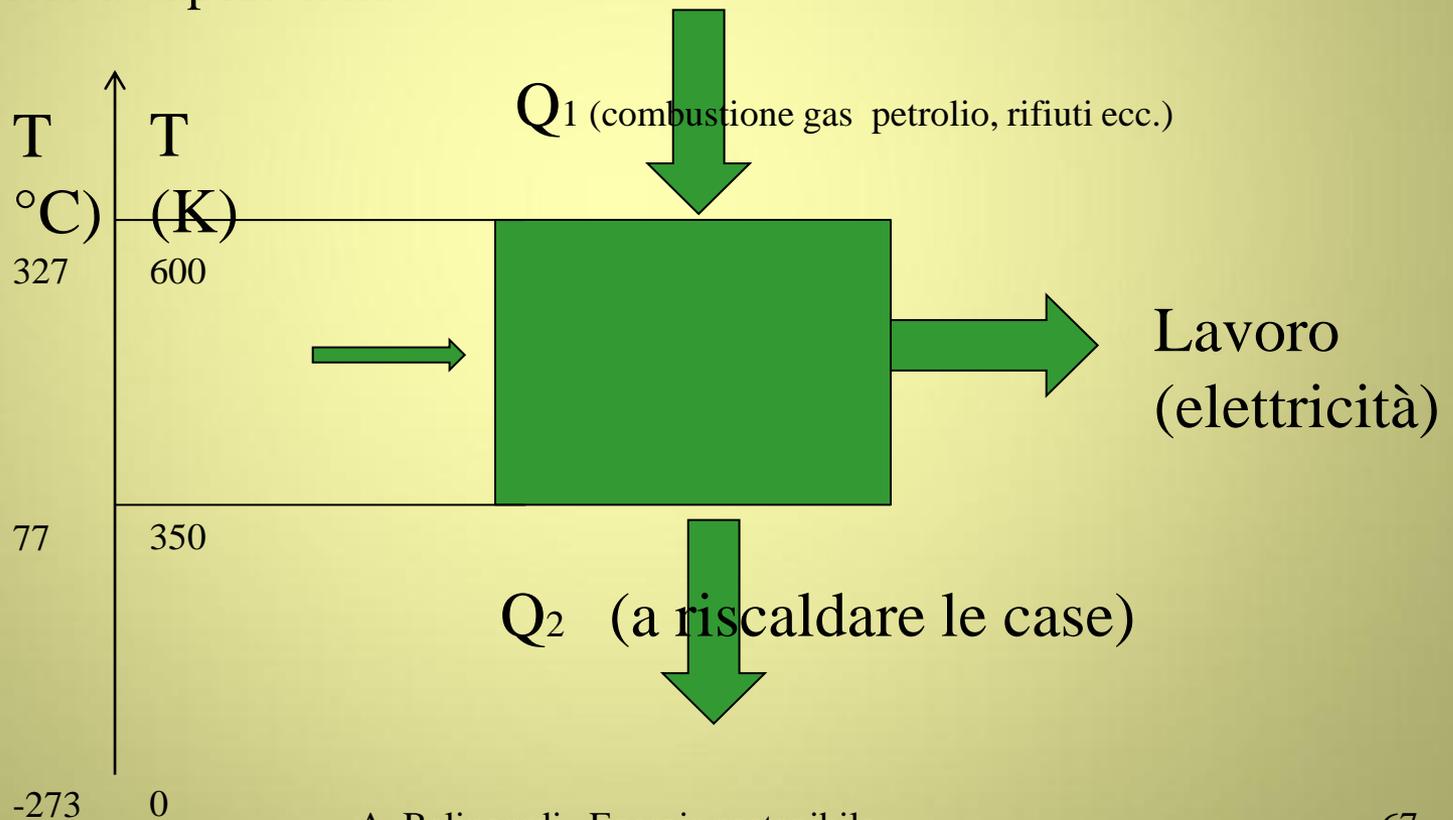
Il vapore acqueo esiste solo fra 0°C (273 K) e 374°C (657K), sopra l'acqua è un gas incondensabile.

L'ebollizione dell'acqua avviene a 100°C (373K) solo alla pressione atmosferica. Variando la pressione l'ebollizione avviene a temperature diverse

Pressione (atm)	Temperatura (°C)
0,1	46
0,2	60
0,3	70
1	100
2	121
5	152
20	212
100	311
200	366
221	374

Al ciclo
di Watt

Una macchina termica per funzionare ha bisogno di una sorgente di calore alla Temperatura T_1 (la più alta possibile) e di una pozza di calore ad una temperatura T_2 (la più bassa possibile), fornire lavoro (piccolo) su un liquido ed ottenere lavoro (grande) con un gas $L = P(V_1 - V_2)$
 Per un ciclo a vapore si ha:



$$R\% = \frac{L}{Q_1} = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$$

Limiti di temperatura nel ciclo Rankine

Il limite superiore di temperatura del ciclo Rankine è quello a cui l'acqua può condensare ($T_{\text{critica}} = 374^{\circ}\text{C}$) ma non si può per ragioni tecniche superare i 365°C (638 K) e siamo già a circa 200 atm di pressione di vapore.

Il limite inferiore è circa 54°C (327 K) perché a quella temperatura il vapore condensa a 0,15 atmosfere con volumi trattati enormi (grandi dimensioni apparecchiature e tubazioni).

Allora si usa in inverno condensare a 65°C con una minima riduzione di rendimento (3%) e l'acqua calda di scarto la si manda nelle case come **teleriscaldamento** evitando così l'impiego di caldaie e di altro combustibile, l'acqua si raffredda a $40^{\circ}\text{-}45^{\circ}\text{C}$ o meno e torna in ciclo.

Rendimento ciclo Rankine

Applicando la formula prima vista il rendimento di un ciclo di Watt-Rankine sarà in **estate** (acqua a 54°C)

$$R = (638 - 327) / 638 = 0,49 = \mathbf{49\%}$$

Ma con qualche astuzia (surriscaldamenti) si riesce a superare agevolmente il 55%

In **inverno** (acqua a 70°C)

$$R = (638 - 343) / 638 = 0,46 = \mathbf{46\%}$$

Quindi con una diminuzione del rendimento termoelettrico del 3% risparmio le caldaie per il riscaldamento

[Torna
indietro](#)

Consumo di un automobile

Il consumo dipende principalmente dalle **accelerazioni**, dalle **salite**, dalle **frenate** (talvolta si può recuperare l'energia di frenata o discesa) ma principalmente **dalla resistenza dell'aria** anche se a **velocità costante** specie per velocità > 60-70 km/h.

La forza di attrito dell'aria è (a 80 km/h = 22 m/s):

$$F = \frac{1}{2} d \times C_x \times A \times v^2 = \frac{1}{2} (1,2 \text{ kg/m}^3) \times 0,25 \times 2,5 \text{ m}^2 \times (22 \text{ m/s})^2 = 200 \text{ N}$$

Dove d è la **densità dell'aria** (circa $1,2 \text{ kg/m}^3$). La densità dell'aria dipende anche dalla temperatura e dalla umidità

C_x è il coefficiente aerodinamico per le auto circa 0,3 le sportive anche di meno

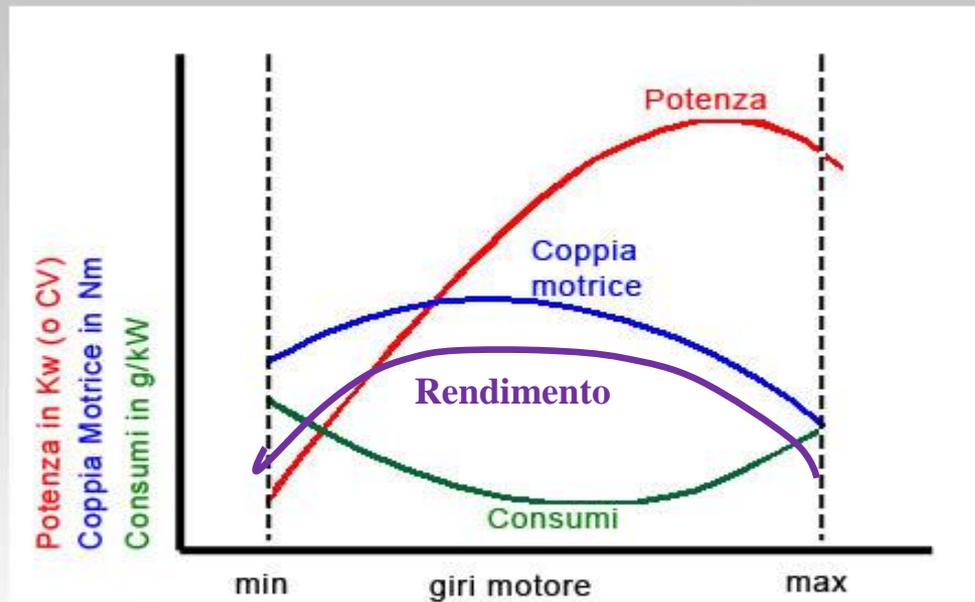
A è l'area facciale del veicolo (grande per bus = 10 m^2 , piccola per auto sportive basse $1-2 \text{ m}^2$, $2,5$ per la mia Panda) non bisogna avere carichi inutili sul tetto né finestrini aperti.

v è la velocità al quadrato espressa in m/s

La potenza si esprime col prodotto della Forza x la velocità (**$P = F \times v$**) la forza aerodinamica dipende dal quadrato della velocità, quindi la potenza dal triplo. Ma ovviamente maggiore è la velocità meno tempo ci si impiega per fare un certo percorso, quindi il consumo dipende solo dal quadrato della velocità

Caratteristiche del motore termico in funzione del numero di giri

Curve caratteristiche del motore



velocità km/h	consumo osservato Wh/km	potenza assorbita kW	autonomia basata su consumo osservato, km
10	208,71	2,09	359,3
20	133,00	2,66	563,9
30	102,00	3,06	735,3
40	94,71	3,79	791,9
50	101,00	5,05	742,6
60	103,43	6,21	725,1
70	107,83	7,55	695,5
80	121,00	9,68	619,8
90	123,67	11,13	606,5
100	144,75	14,48	518,1
110	156,04	17,16	480,6
120	183,50	22,02	408,7
130	191,75	24,93	391,1

Consumo per un
auto elettrica Tesla
Model 3 LR
55 000 euro
batteria 75 kWh
(50-100% in più del
normale)

<https://www.greenstart.it/la-relazione-fra-velocita-e-autonomia-nelle-auto-elettriche-tesla-model-3-23468>

Curva teorica per Tesla Model 3

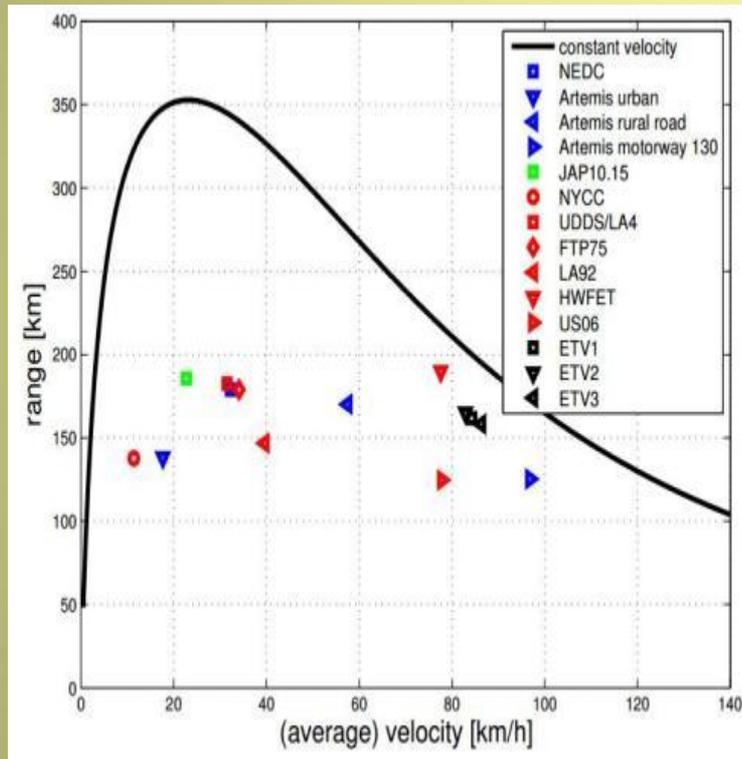


Golf elettrica

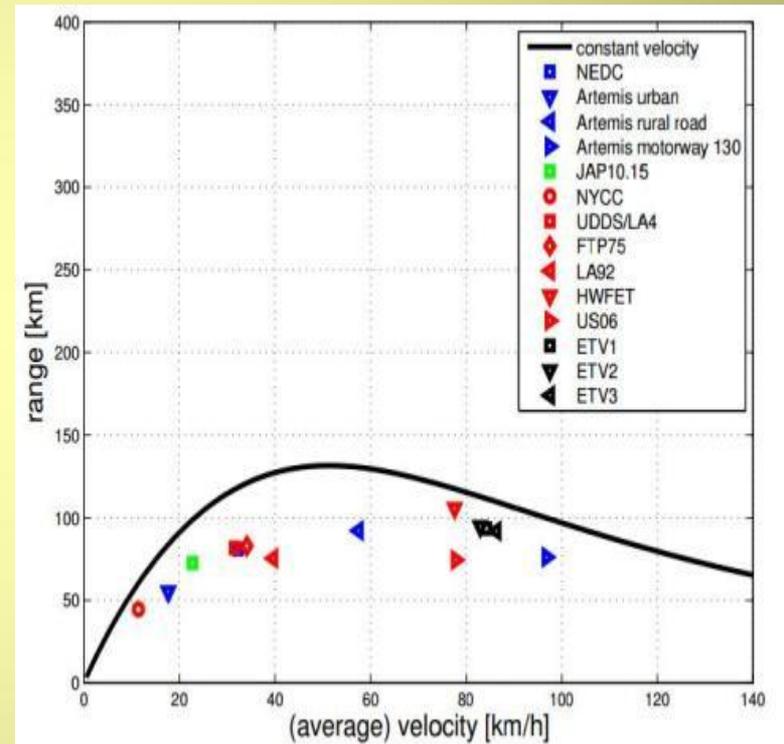
Batteria 35,8 kWh

Costo 40 000 euro

Condizioni teoriche e cicli effettivi



Autonomia con riscaldamento
raffreddamento inserito (4,5 kWh) le
percorrenze si dimezzano



Facendo un esempio, a 80 km /h = 22 m/s

$P = F \times v = \frac{1}{2} d \times C_x \times A \times v^3 = \frac{1}{2} (1,2 \text{ kg/m}^3) \times 0,3 \times 2,5 \text{ m}^2 \times (10600 \text{ m}^3/\text{s}^3) = 4,7 \text{ kW}$ che diventano 5,7 kW tenendo conto delle altre perdite ai pneumatici, attriti e accessori

Per fornire questa potenza il motore deve dare

$P = \text{Potenza utile}/\text{rendimento} = 5,7 \text{ kW}/0,25 = 22,8 \text{ kW}$

A 80 km/h (80x 80 = 6400) si consuma circa la metà rispetto a 113 km/h (113 x 113 = 12769 circa il doppio di 6400) ed 1/3 rispetto a 140 km/h (140 x 140 = 196000)

Il consumo dovuto a pneumatici ed attriti aumenta di poco con la velocità



Un 20% di consumo dipende anche dall'attrito degli **pneumatici**:

Consumano di più gli pneumatici nuovi, quelli termici, di meno se usurati o slick (auto da corsa di formula 1). Requisiti che contrastano con la sicurezza.

Anche questo consumo aumenta poco con la velocità. Importante è la pressione di gonfiaggio delle gomme che deve essere corretta, gomme sgonfie consumano di più

L'olio riduce l'attrito delle parti meccaniche

Altro consumo deriva dagli accessori in particolare il condizionatore mentre il riscaldamento è gratis perché per questo si prende parte del calore prodotto dal motore termico (non è gratis anzi fortemente penalizzante per l'auto elettrica)

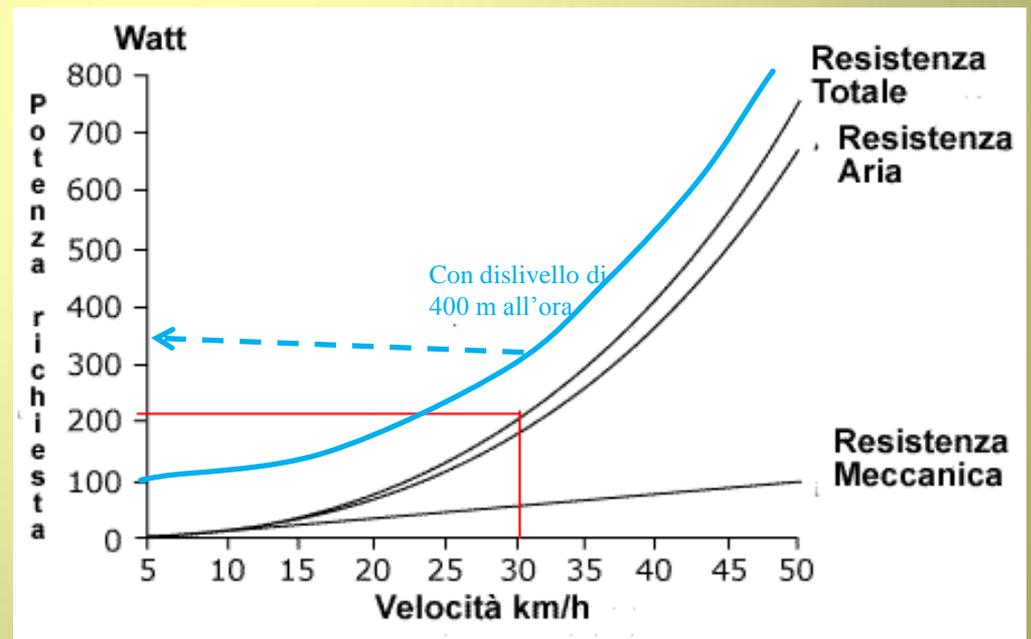
Come si vede a velocità costante il consumo non è (quasi) influenzato dal **peso** dell'auto. Il peso invece influisce moltissimo nelle accelerazioni e nelle **salite**. Supponendo un'auto di 1000 kg che deve salire di 1000 m essendo una accelerazione di gravità di circa 10 m/s^2 abbiamo

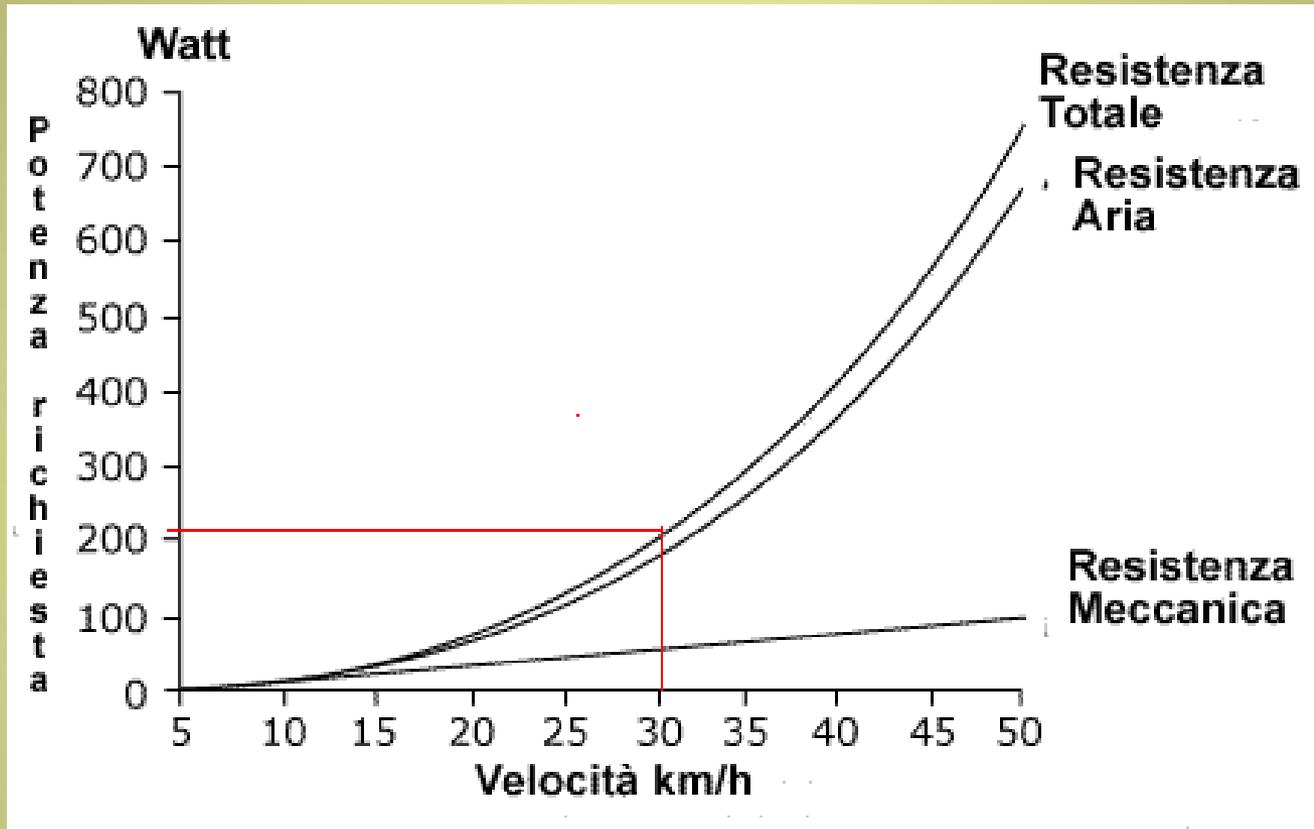
Energia potenziale = $m g h$
= $1000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ m}$
= $10\,000\,000 \text{ J}$
= $10\,000 \text{ kJ} \times (1\text{h}/3600 \text{ s})$
= $10\,000/3600 \text{ kJ/s} \times \text{h} = 2,7 \text{ kWh}$
Energia da aggiungere a quella precedente

Torna
indietro



Per un **ciclista** di 100 kg compresa la bici, la salita di 1000 m richiede 270 Wh e siccome un ciclista (senior) mediamente allenato produce 100 W impiega 2,7 h per salire 1000 metri (trascurando attriti su pneumatici e resistenza dell'aria che comunque piccoli, fanno salire a circa 150 W la potenza impegnata)





Reazione di combustione

Avviene fra combustibile ed aria

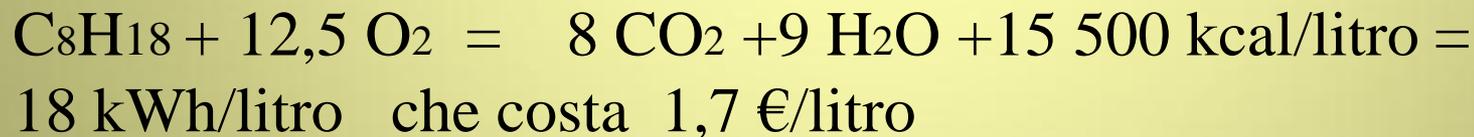
Ad esempio per il **metano** da riscaldamento si ha



10 kWh/m³ che costa 1,0 € /m³ = 10 kWh con 1 €

Con un rendimento di caldaia dell'85% abbiamo 8,5 kWh di riscaldamento con 1€ (ma solo 4,5 kWh con 1 € considerando le spese aggiuntive in bolletta) e 2,1 kWh di energia per autoveicolo (rendimento motore 25% e 20% di tasse)

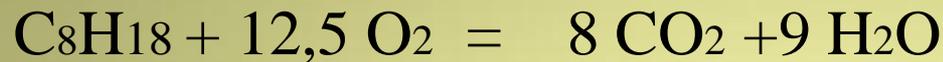
Per la benzina per i veicoli ho



Ma il rendimento è 0,25 ciò significa che l'energia utile è solo $18 \times 0,25 = 4,5 \text{ kWh/litro} = 2,6 \text{ kWh/€}$

Torna
indietro

Da 114 g di benzina si ottengono 352 g di CO₂



$$114 \text{ g} + 400 = 352 + 162 \text{ g}$$

Da 1kg di benzina se ne ottengono 3,1 kg

Da 1 litro (densità 0,68 kg/litro), quindi da 680 g otteniamo 2100 g

Per produrre idrogeno



Quindi l'anidride carbonica prodotta contestualmente all'idrogeno è pari a quella sviluppata nella produzione di idrogeno (ovviamente con un impianto molto più complesso che porta a 3200 g la produzione), ma poi la cella a combustibile-motore elettrico ha un'efficienza molto superiore al motore endotermico

Batteria auto elettrica

Una **batteria per auto** ha una capacità tra 30 e 50 kWh il che significa che con un normale contratto da 3 kW occorrono 10-17 h per caricarla completamente con un costo da 6 a 10 € di energia (+ altre voci della bolletta).

Le colonnine forniscono 11 kW e impiegano 3-5 h per la ricarica completa

Quanto è **l'autonomia**? Dipende da come si usa la vettura. La mia Panda ha una potenza di 51 kW, che significa che se la uso tirandola al massimo l'autonomia è di 1,5-2 h, ma se mi accontento di un utilizzo tranquillo (80 km/h a velocità costante) può durare anche 3-4 h e fare 300 km

Utile è il recupero di energia fatto nelle frenate e nelle discese (frenata rigenerativa)

Per una ricarica più veloce es in un 1 h si ha bisogno di fili elettrici che portino maggiore potenza es. 30 kW (qualcosa si sta facendo nelle colonnine e in garage moderni in costruzione), ma anche i 3 kW sono problematici nei box in serie costruiti 10-20 anni fa perché 100 box che ricaricano tutti insieme di notte abbisognano di una potenza di 300 kW e quindi di ricablare le condotte elettriche. Nelle stazioni di servizio si possono avere ricariche in 20 minuti con “pompe” da 100 kW, ma una stazione con 10 postazioni in autostrada serve 30 auto all’ora.

Batterie per auto elettriche

Quelle delle auto tradizionali sono al piombo -acido solforico, quasi uguali da 100 anni. Per le auto elettriche ci sono batterie al litio, metallo tossico e difficile da estrarre (5% nei minerali) e già ora ci sono problemi per il loro reperimento ed hanno alti costi.

Fondamentale è riciclare sempre batterie e pile, perché oltre a inquinare l’ambiente contengono materiali preziosi

Torna
indietro

Studio Peugeot

- **Meglio elettrica oppure diesel o benzina?** Quali differenze ci sono? E soprattutto quali sono i costi reali dei consumi? Elettricità e combustibili fossili sono due elementi molto diversi tra loro, ma che 'lottano' per sveltare quanto a consumo, prestazioni energetiche, capacità di accumulo di energia e costo dell'energia per chilometro percorso, tra una vettura elettrica ed una dotata di tradizionale propulsore endotermico, benzina o diesel che sia.

Il gruppo Peugeot che nella sua gamma ha modelli di ogni categoria e alimentazione ha provato a chiarire qualche dubbio. Per quanto riguarda l'elettrificazione l'azienda francese si focalizza su una gamma completa e variegata che comprende, tra gli altri, anche due modelli 100% elettrici: nuova Peugeot e-208 e suv e-2008. L'offerta elettrificata include anche la tecnologia ibrida plug-in, declinata da una gamma di 4 modelli: Peugeot 508 Hybrid, 508 SW Hybrid, 3008 Hybrid e 3008 Hybrid4 con trazione 4x4. A questi si aggiunge anche il nuovo e-Traveller.

I combustibili fossili hanno un eccellente rapporto tra l'energia che possono fornire e la massa e il volume che occupano: hanno un'alta densità energetica e consentono di immagazzinare molta energia in uno spazio piccolo e leggero. Questo è il motivo del loro successo per oltre un secolo come fonte di energia per veicoli a propulsione interna destinati al trasporto, nei quali si deve ottimizzare peso e spazio.

Un altro vantaggio del carburante è che si tratta di un fluido liquido, che necessita solo di un contenitore adattato alle sue caratteristiche per essere immagazzinato. L'accumulo di elettricità è un processo molto più complesso che richiede una batteria che riceve elettricità e la trasforma in energia chimica per immagazzinarla. Una batteria agli ioni di litio rappresenta una tecnologia all'avanguardia (utilizzata ad esempio dalle nuove e-208 ed e-2008) ed offre una densità di energia di circa 0,14 kWh/kg.

La versione a benzina della 208, dotata di un serbatoio da 44 litri di capacità, può immagazzinare fino a 422,4 kWh di energia. Nella variante diesel, con un serbatoio pieno da 41 litri, questa cifra sale a 438,7 kWh. La batteria ad alta capacità della e-208 o del suv e-2008 può accumulare fino a 50 kWh di energia.

Se aggiungiamo l'elevata densità energetica del carburante con il suo semplice serbatoio, l'energia che le auto a combustione sono in grado di accumulare è leggera e occupa poco. Un litro di benzina pesa circa 750 grammi (850 grammi per litro il gasolio); quindi una 208 a combustione interna 'costa' solo 30,75 chili di benzina o 37,4 chili di gasolio, più il peso del serbatoio stesso, per trasportare una grande quantità di energia. Il sistema di batterie completo di una e-208 o e-2008 elettrica immagazzina 50 kWh e contiene il peso in 356 chili, grazie al fatto di essere al Litio.

Un'auto elettrica può immagazzinare molta meno energia, però ha bisogno di molta meno energia per muoversi, perché la trasforma in modo molto più efficiente. I motori a benzina più efficienti al mondo hanno un'efficienza energetica di circa il 40%, che aumenta al 45% sul Diesel. In altre parole, trasformano in movimento solo il 40-45% dell'energia che ricevono, mentre il resto viene perso nella generazione di calore. Un motore elettrico, invece, ha un'efficienza superiore al 90%.

Le auto a combustione interna immagazzinano circa 8 volte più energia, ma consumano anche circa 3,5 volte di più. Di conseguenza, una 2008 PureTech 130 CV a benzina potrebbe percorrere 758 chilometri con un consumo medio di 5,8 l/100 km, 836 chilometri una BlueHDi 130 CV, tenendo conto del suo consumo medio di 4,9 l/100 km. L'autonomia WLTP di una e-2008 è invece di 320 chilometri.

La propulsione elettrica ha un buon vantaggio. Considerando un costo a kWh di 0,2 euro per la ricarica domestica e di 0,45 per quella effettuata presso le colonnine pubbliche in corrente alternata, ricaricare completamente una e-208 o e-2008 può costare tra 10 e 22,5 euro. Ciò si traduce in un costo energetico per 100 chilometri compreso tra 2,94 (3,12 per e-2008) e 6,6 (7,03 per e-2008) euro. Nel caso di una 2008 PureTech 130 il costo del carburante è di 7,92 euro/100 km mentre nel caso del BlueHDi 130 il costo del carburante è di 6,15 euro/100 km

Stesso discorso vale per **bici elettrica** con batteria da 0,35-0,7 kWh (costo di ricarica circa 10 centesimi).

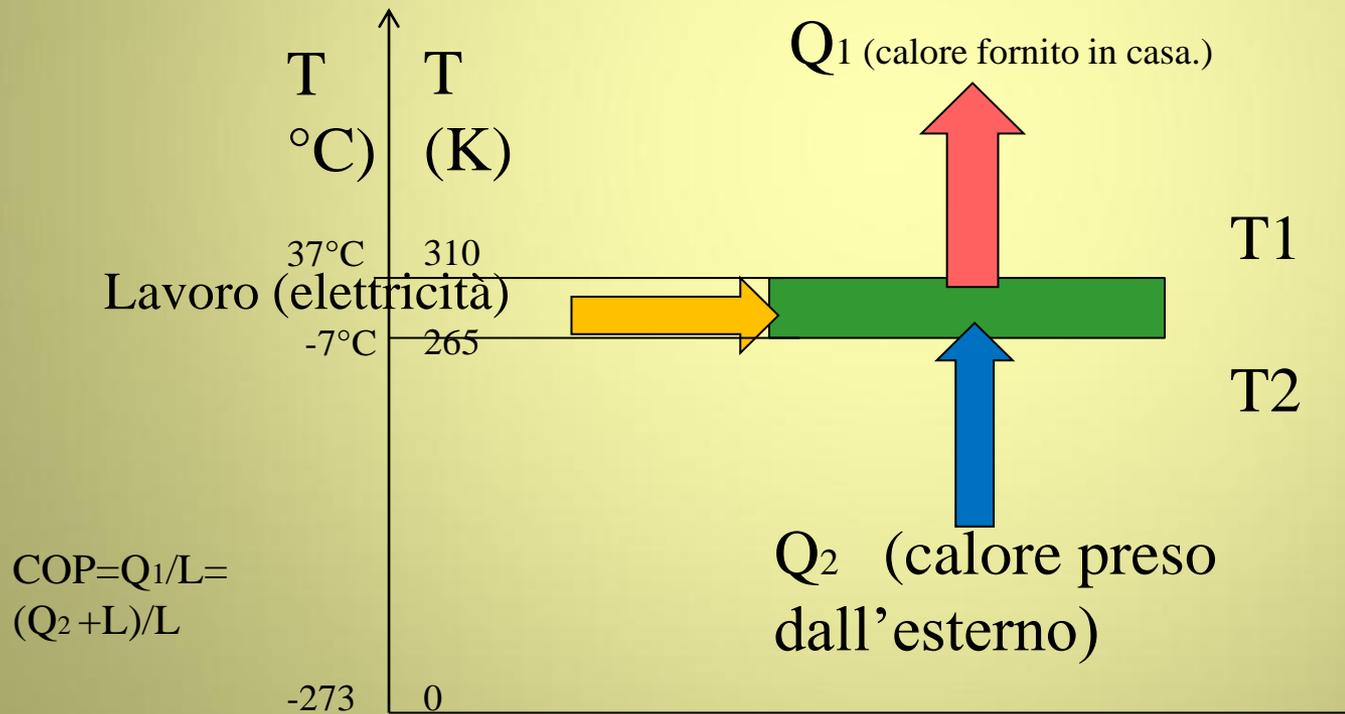
Un campione di ciclismo sviluppa una potenza di 300-500 W quindi potrei stargli dietro 1 h (in modalità turbo), ma poi mi fermo.

Noi di “pedaliamo insieme” impegniamo nei nostri spostamenti in pianura circa 50-70 W a 15 km/h, (100-130 W a 22 km/h) e pertanto potrei fare circa 150 km con il primo livello di assistenza

Per consumare di meno si sa che i ciclisti hanno vestiti e posizioni aerodinamiche e gonfiano bene gli pneumatici

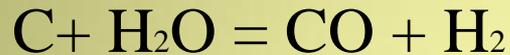
Torna
indietro

Funzionamento della pompa di calore un gas opportuno (HFC) prende calore dall'esterno dove bolle alla Temperatura T_2 e lo cede all'interno di una abitazione condensando alla temperatura T_1 . Per far ciò devo fornire una certa energia elettrica che serve a comprimere il gas:



Produzione di idrogeno

Il gas da città usato fino agli anni '60, prima del metano era essenzialmente idrogeno e ossido di carbonio, mix micidiale di tossicità ed esplosività, ottenuto dal carbone regito con acqua



Negli anni successivi per la produzione di idrogeno per l'industria (ammoniaca, metanolo ecc) si passa attraverso il metano e molte reazioni complesse che si possono riassumere nella seguente



Poche % di idrogeno molto puro e molto caro si ottengono per elettrolisi

Torna
indietro

Il metano si misura a m^3

Un metro cubo di metano contiene $1000/22,4 = 44$ moli
1 mole di metano pesa 16 g quindi in un m^3 ho 714 g di metano

Il gasolio si misura in litri. 1 litro corrisponde a 835 g

Torna
indietro

1 kg di combustibile	Energia prodotta kWh
metano	11,2
gasolio	10,2
pellet	4,2

Sistemi di accumulo di energia

2.2 Tipologie di Sistemi di Accumulo Sebbene l'elettricità non possa essere facilmente accumulata in maniera diretta, può essere facilmente accumulata in altre forme e convertita di nuovo in elettricità quando necessario. I sistemi di accumulo possono essere classificati nel seguente modo [3]:

- Accumulo di energia elettrica Accumulo di energia elettrostatica: condensatori e supercondensatori Accumulo di energia magnetica/di corrente: SMES
- Accumulo di energia meccanica Accumulo di energia cinetica: volani Accumulo di energia potenziale: PHS e CAES
- Accumulo di energia chimica Accumulo di energia elettrochimica: batterie convenzionali Accumulo di energia chimica Accumulo di energia termochimica
- Accumulo di energia termica Accumulo di energia a basse temperature: accumulo di energia criogenica, accumulo di acquiferous cold Accumulo di energia ad alta temperatura (a calore sensibile ed a calore latente)
- Accumulo di idrogeno • Power to Gas (PTG)

Superconduttori.

Bassa potenza immagazzinabile a bassa temperatura. Facile e veloce conversione altissimi rendimenti

Supercondensatori

Rapidi, bassa quantità di energia accumulabile

Aria compressa

Fino a 100 MW per unità 40-80 atm

Volani

Alta efficienza ed alta densità di accumulo

Le principali batterie utilizzate nelle applicazioni che si occupano di accumulo di energia sono le seguenti:

- Batterie al piombo 20-40 Wh/kg 500-1000 cicli
- Batterie al nichel-cadmio 50-75 Wh/kg 2000 cicli, alti costi
- Batterie allo solfuro di sodio 150-250 Wh/kg, alti costi
- Batterie al nichel cloruro di sodio 1200 Wh/kg ???
- Batterie al litio 150 Wh/kg 600 \$/kWh (2015)

Idrogeno

Rendimento 40% a bassa temperatura

60% ad alta temperatura

0,6-1,2 kWh/Kg di cella

Enzimi: consiste nell'utilizzo di batteri e alghe, i criobatteri, che producono idrogeno come normale processo metabolico utilizzando l'energia assorbita dalla luce solare e l'acqua. Ad oggi però quest'ultima soluzione non è ancora praticamente attuabile a causa delle piccolissime quantità di idrogeno che sono prodotte in questo modo.

Un altro metodo estremamente interessante per lo stoccaggio dell'idrogeno sono gli Idruri Metallici. Gli Idruri Metallici, con differenti gradi di efficienza, possono essere usati come mezzo di stoccaggio dell'idrogeno, spesso reversibilmente

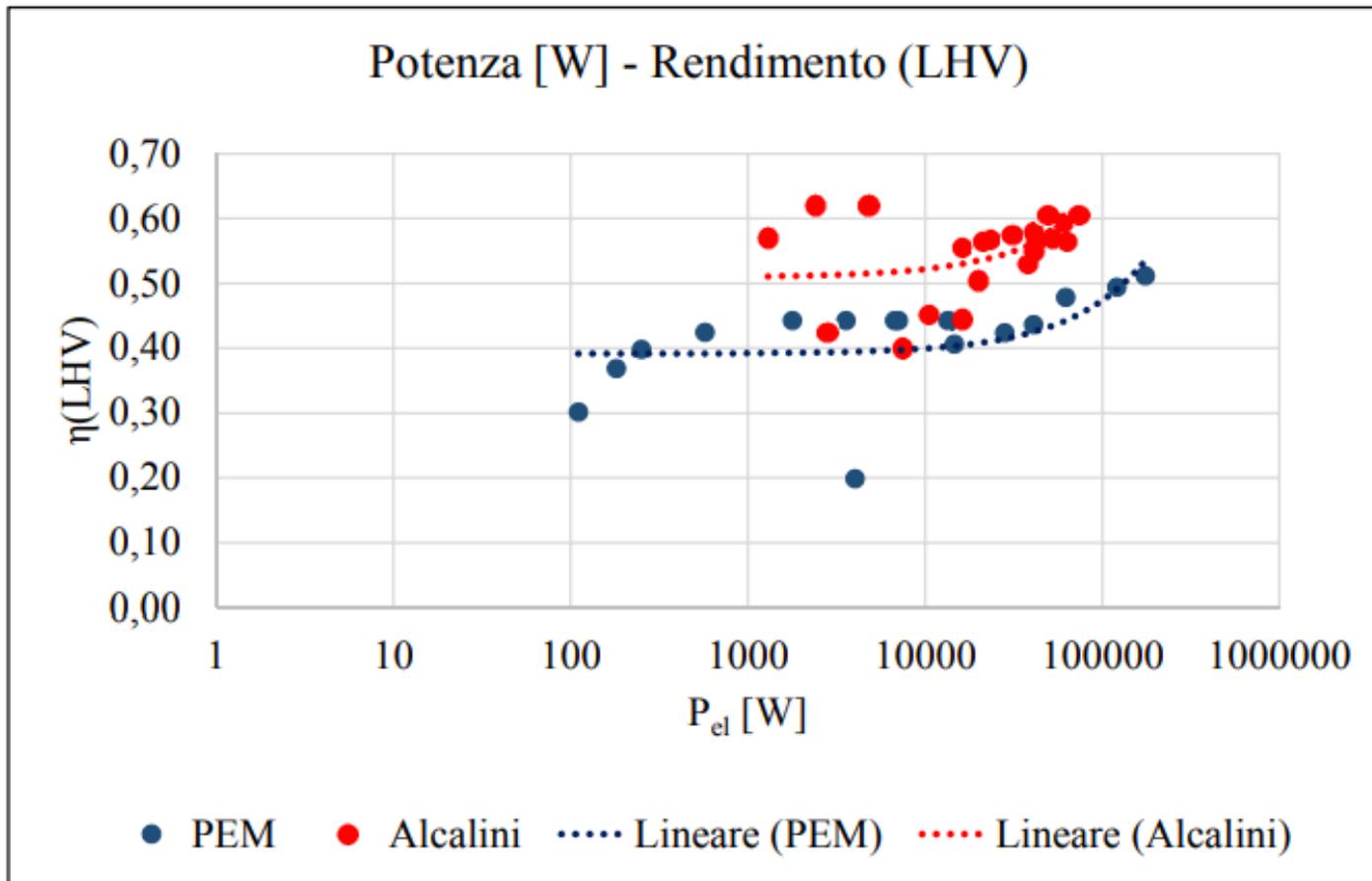
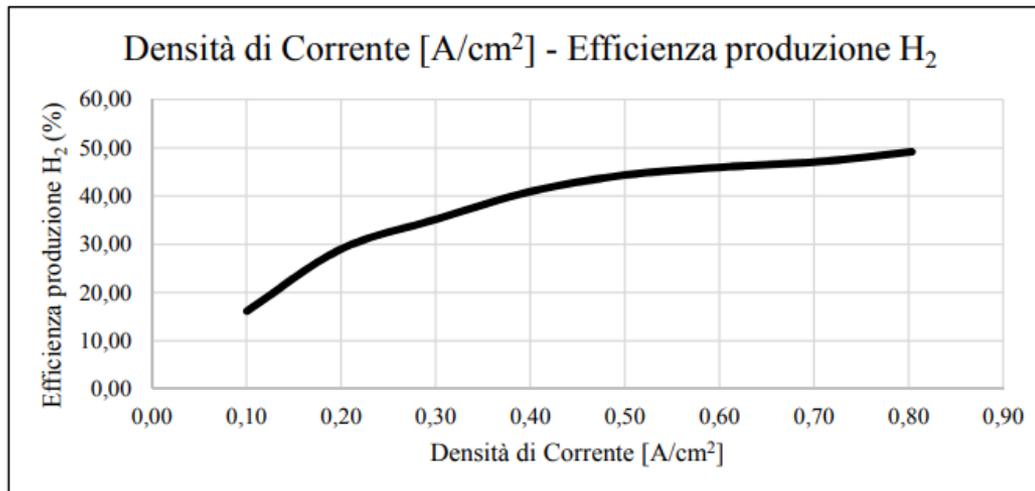


Fig. 4.4 – Confronto di potenza e rendimento fra elettrolizzatori commerciali alcalini e PEM

Densità di Corrente [A/cm ²]	η_{H_2} Efficienza della produzione di idrogeno (%)
0,10	16,15
0,20	28,96
0,30	35,21
0,40	40,94
0,50	44,38
0,60	45,94
0,70	47,08
0,80	49,17

Tab. 5.2 – Rendimento in funzione della densità di corrente alla temperatura di 40 °C

Che determina la seguente curva:



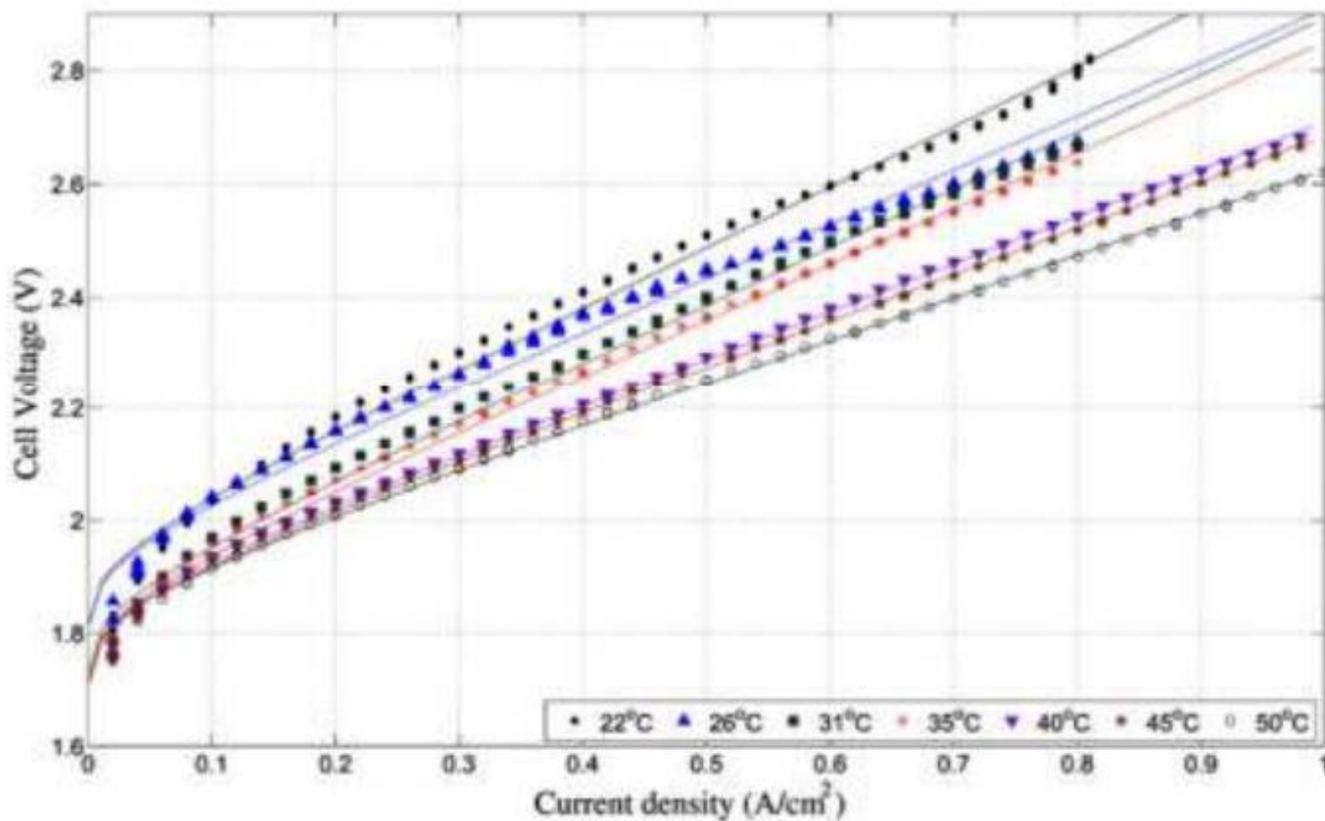


Fig. 5.3 – Curva di polarizzazione a differenti temperature [6]