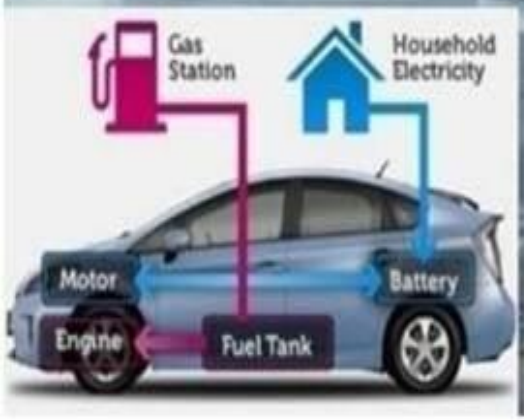
Che auto guideremo domani ?



UTE 2019

a richiesta via email
la versione completa

1° CICLO

1- L'auto nel tempo

2 - Motori a combustione Otto - Diesel

3 - Tecnologia Ibrida

4 - Tecnologia elettrica

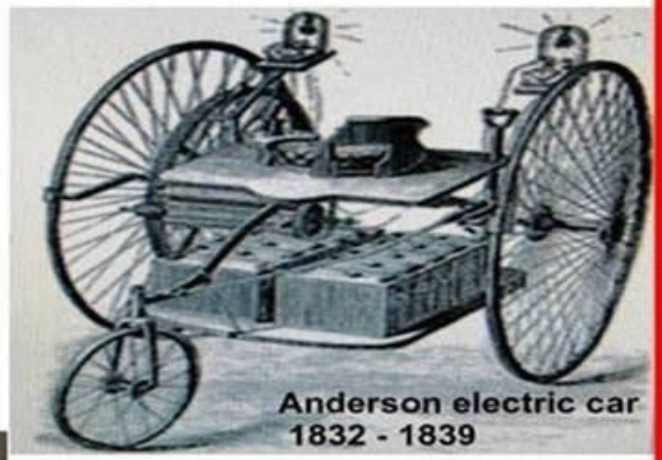
5 - La nuova frontiera delle batterie - Benvenuto Idrogeno

La storia delle auto

dal vapore ...

all'elettricità ...

alla benzina ...



UTE 18-19

A proposito di motori nella storia …

1 - Primo carro motore a vapore	**1769**	**francese CUGNOT**
2 – Primo motore elettrico 220 W	**1834**	**russo JACOBI**
3 - Primo motore a scoppio mono cil	**1854**	**italiani BARSANTI MATTEUCCI**
4 – Primo motore 4 tempi benzina	**1876**	**tedesco August OTTO**
5 – Primo motore 4 tempi gasolio	**1892**	**tedesco Rudolf DIESEL**

1769 carro Cugnot

(fonte museo militare Cecchignola Roma)

Francia 1769

Riproduzione, in scala 7/10, del primo veicolo semovente del mondo.

A tre ruote e con propulsione a vapore, era stato costruito per il traino di artiglierie nell'Arsenale militare di Parigi su progetto di Nicolas Joseph Cugnot.

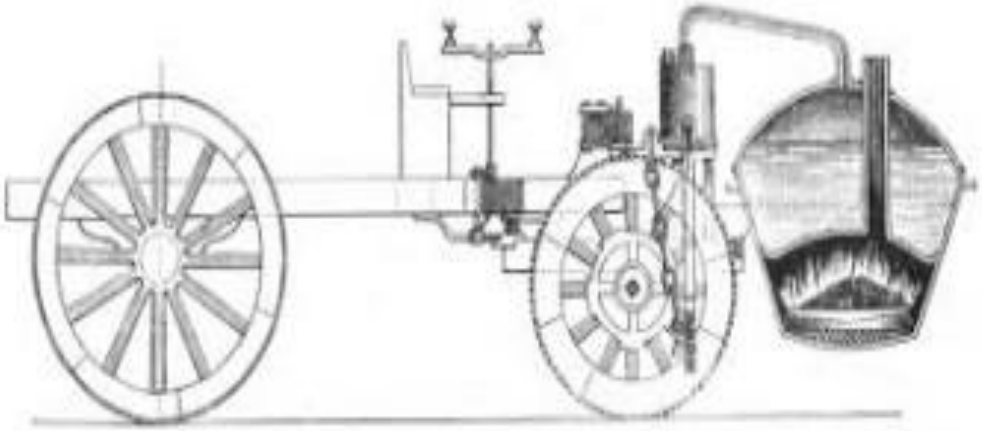
Motore a 2 cilindri verticali , cilindrata **50.000 cc**

Alimentato dal vapore generato da una caldaia trasmetteva il moto alla ruota anteriore, che era anch direttrice.

Peso circa 4.000 Kg - Velocità circa 4 Km

Praticamente sprovvisto di efficiente sistema frenante.

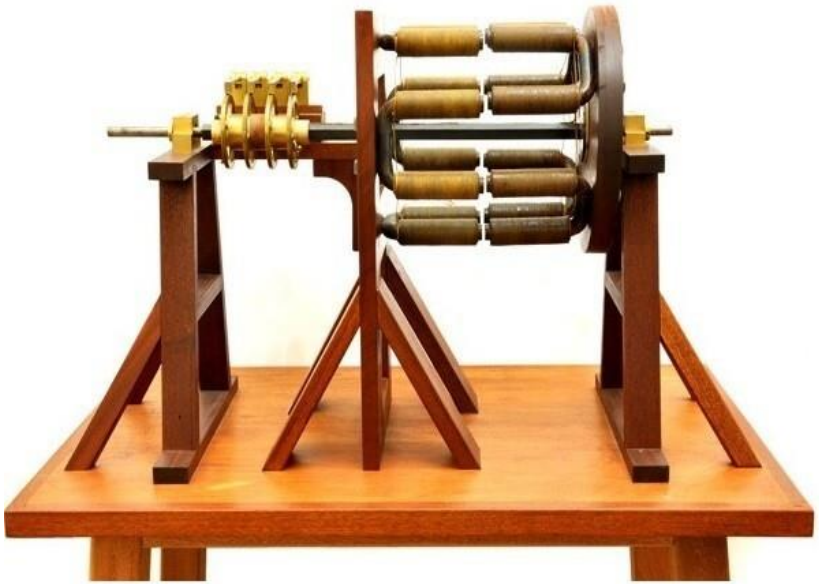
Conosciuto come "fardier" carro per il trasporto di carichi pesanti.



1834 Motore Jacobi

Fonte WEB

Motore elettrico di Jacobi, 1834 (collezione De Rubeis).
Costruito nel 1834 dal prussiano M. H. Jacobi e presentato l'anno successivo all'Accademia delle Scienze di Pietroburgo.
Primo motore elettrico utilizzato per un'applicazione pratica.
13 settembre 1838 Jacobi lo sperimentò su un battello, sul fiume **Neva** a San Pietroburgo
L'imbarcazione, con 12 passeggeri, era mossa da due grandi ruote alettate messe in rotazione dl motore Jacobicon una **potenza di 220 W. Peso del gruppo motore circa 1000 Kg.**

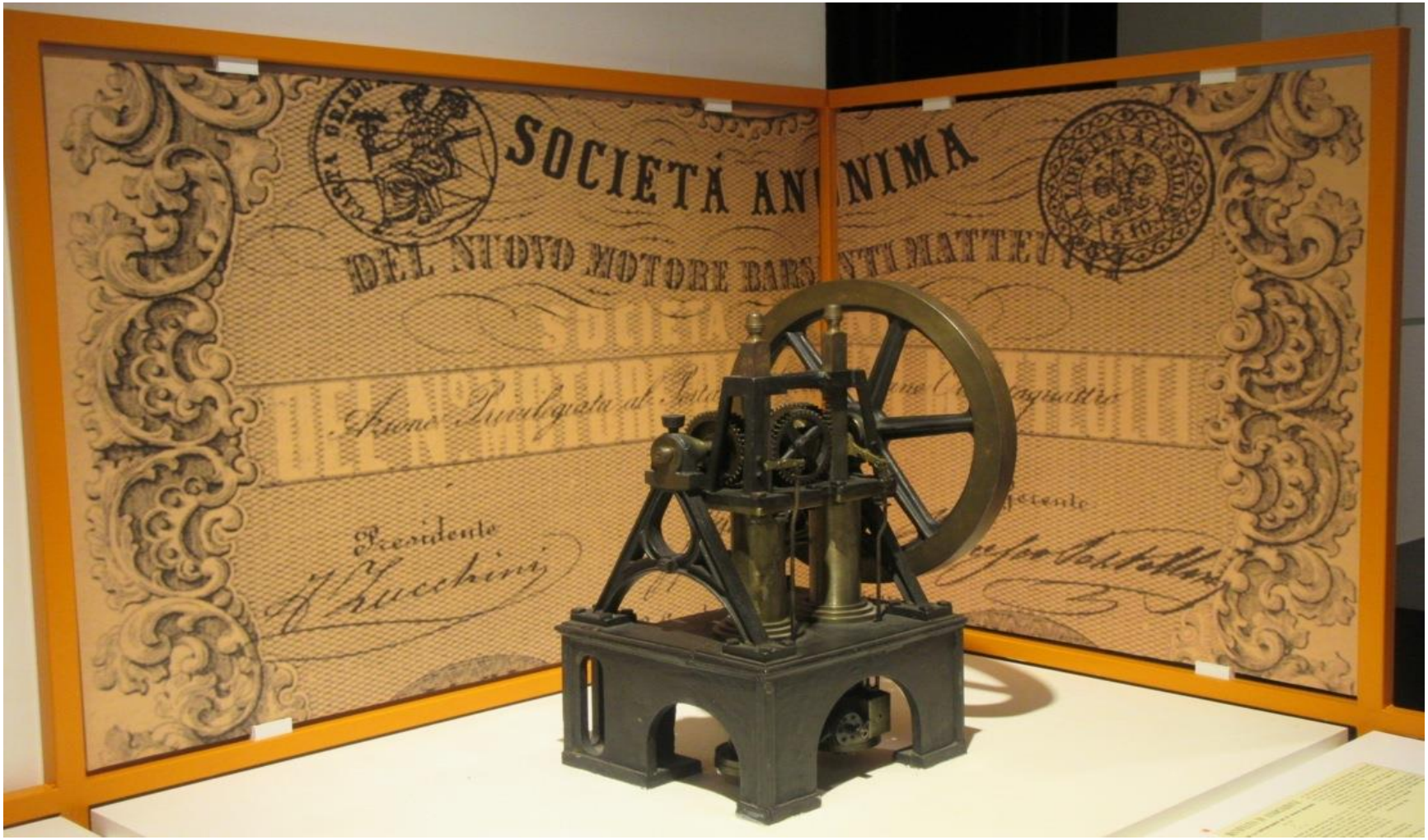


Per alimentarlo venne utilizzata una pila di Grove con 128 elementi e una superficie totale di platino pari 4 m^2.

L'esperimento non ebbe un grande successo:

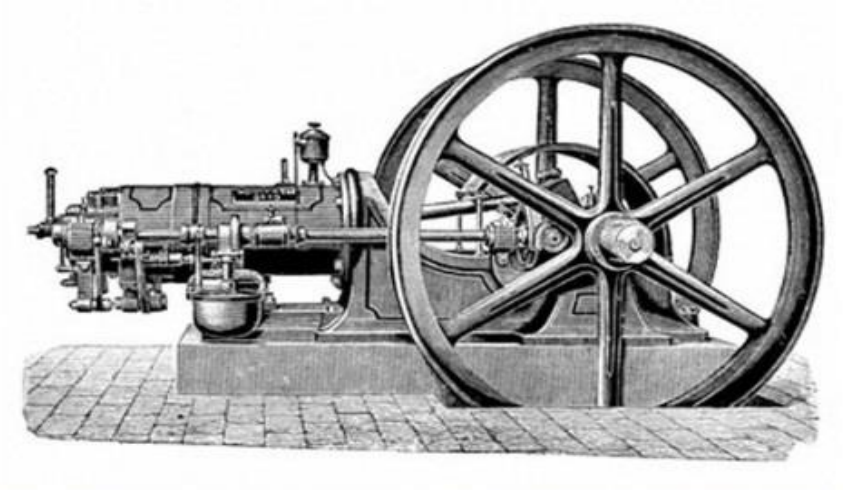
- Percorsi solo 7,5 km a una velocità di appena 2,5 km/h
- Emissione di gas nocivo da acido nitrico utilizzato dalla batteria → intossicazione dei 12 passeggeri.

Museo della scienza e tecnica Milano
1854 motore Barsanti-Matteucci



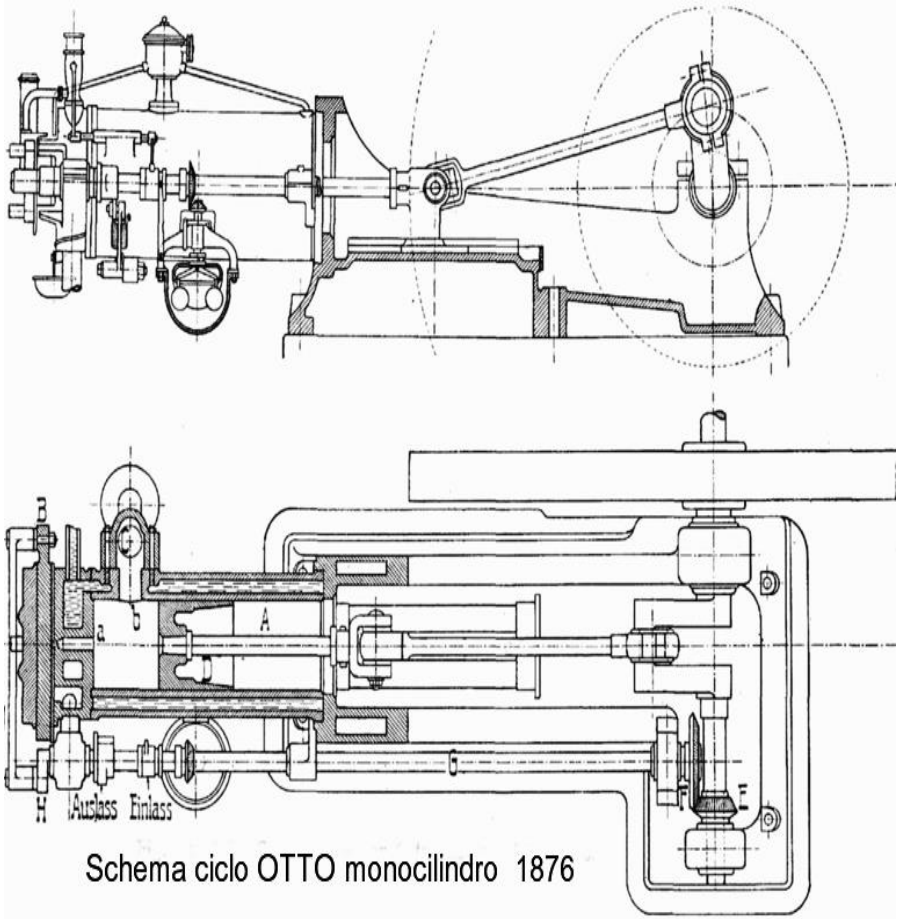
Il motore a scoppio ciclo Otto 4 tempi

(fonte wikipedia e web)



Il motore Otto-Langen del 1867

Nel 1867 i tedeschi A. Otto ed E. Langen presentano un motore sostanzialmente uguale a quello di Barsanti e Matteucci all'Esposizione Internazionale di Parigi, con un rendimento del 12%. Nonostante le enormi dimensioni e le notevoli vibrazioni,questo motore sostituì ben presto il motore Lenoir.

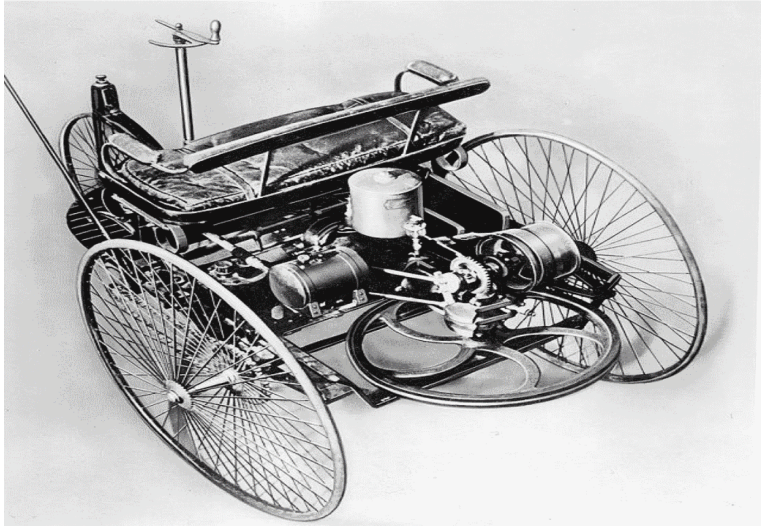


Schema ciclo OTTO monocilindro 1876

1886 la prima auto della storia
Il triciclo di Benz

Per la storia dell'automobile la data del 29 gennaio 1886 è fondamentale .

Coincide con il deposito col numero 37435, all'Ufficio Brevetti dell'Impero Germanico della 'Patent Motorwagen', la prima automobile mossa da un motore a scoppio.



Il motore Diesel

Il motore Diesel (ciclo Diesel) fu brevettato dal tedesco Rudolf Diesel nel 1892.
E' un motore a combustione alimentato a gasolio e sfrutta la compressione dell'aria che riscaldandosi consente l'autoaccensione del gasolio iniettato.
Si evitano così le candele di accensione tipiche del ciclo Otto.
Per questo il diesel è noto anche come motore ad **autoaccensione** contrariamente al ciclo Otto noto anche come motore ad **accensione comandata.**
Il motore Diesel fu usato inizialmente principalmente per grossi impianti fissi, mezzi industriali, marina e poi a partire dalla fine anni "20 su autocarri ed autobus.

La prima auto di serie spinta da un motore alimentato a gasolio fu la **Mercede Benz 260D** del 1936 e in Italia la **Fiat 1400D** del 1953.

Poi l'iniezione diretta (1986 Fiat) , il common rail (1997 Fiat → Bosh) e il multijet (1999 Fiat) hanno enormemente sviluppato la diffusione del Diesel soprattutto nei mercati europei e in particolare in Italia.

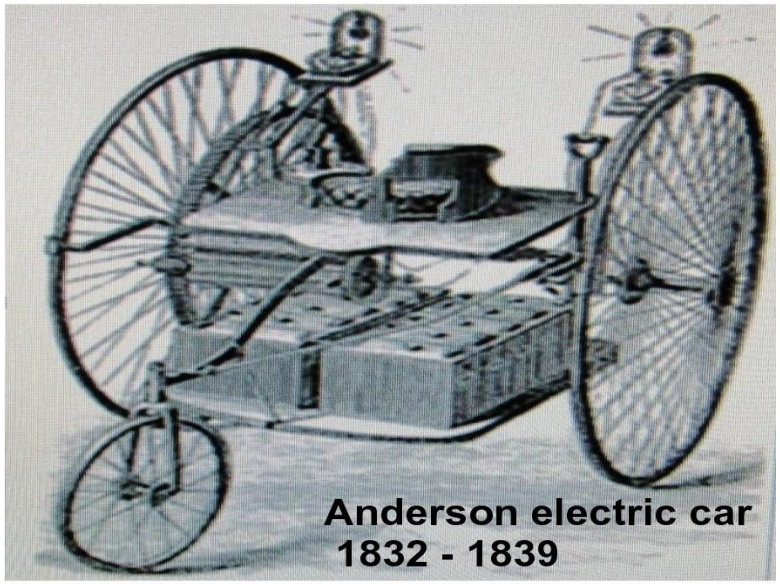
I primi prototipi di auto elettrica

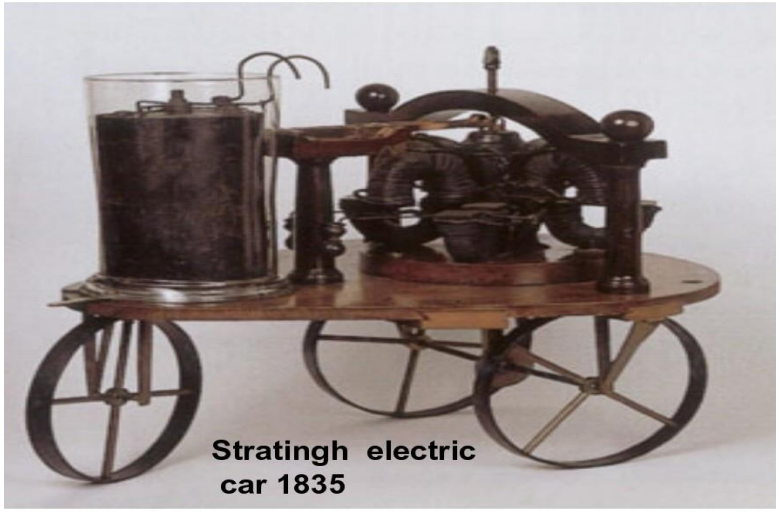
1832-1839 **(periodo presunto)**
l'imprenditore scozzese Robert Anderson realizzò il primo prototipo di " carrozza elettrica" della storia.

1834-1835 **l'americano Thomas Davenport realizzò il primo veicolo elettrico pratico.**

1835 **il Professore olandese Stratingh col suo assistente Becker realizzò la prima auto elettrica in scala ridotta.**

Erano primordiali con batterie primitive non ricaricabili , fino a quando nel 1859 il francese Gaston Plante' inventò la 1^ batteria ricaricabile.





Motori a combustione interna

M C I

UTE 18-19

In attesa del nuovo cosa scegliere ?

“DIESEL O BENZINA questo è il problema”

come direbbe … l’Amleto automobilista di oggi.

Il dilemma della scelta perdura da qualche anno anche se, specialmente in Italia, la diffusione del Diesel nelle varie soluzioni è stata un crescendo sino al 2017.

Tuttavia la quasi totalità dei Costruttori sta investendo sempre più nel nuovo (ibrido e poi elettrico e in un futuro anche Fuel Cell) pur cercando di ottimizzare le prestazioni dei MCI sia a livello emissioni che con nuovi carburanti .

E’ un periodo di transizione nel quale ancora non sono consolidate le eco-tecnologie anche se la tendenza è ormai chiara e recepita anche dalle istituzioni politiche (previsti anche in Italia incentivi per l’elettrico e ibrido a partire dal 2019) e dalle amministrazioni delle aree metropolitane (divieti sempre più diffusi alla circolazione dei Diesel di vecchia concezione (esempio a Milano per ora fino a Euro4…)

Il Diesel dunque ha imboccato il suo …” viale del tramonto ? ”

Difficile dirlo, difficile anche se i segnali vanno in questa direzione .

Principali differenze tra OTTO e DIESEL

	OTTO	DIESEL
Combustione	Accensione comandata a mezzo candela gestita elettronicamente iniezione	Accensione per compressione Iniezione diretta common rail → multijet
Coppia	Elevata solo a partire da giri elevati (2500-3000g/min) minor elasticità ai bassi giri → maggior uso del cambio	Coppia elevata a partire dai bassi numeri di giri (1500 – 2000 g/min) → Maggior elasticità di risposta alle basse velocità
Consumo	Consumi specifici medi maggiori (rendimento reale 15-20%)	Consumi specifici medi inferiori (rendimento reale 25-30%)
HARD WARE	Maggior semplicità costruttiva minor peso specifico rapportato cioè alla potenza	Maggior complessità costruttiva e maggior peso specifico rapportato alla potenza

In questo quadro di incertezze nelle scelte dei MCI vediamo i principali pro e contro di queste tecnologie.

BENZINA (ciclo OTTO)

PRO

1- prezzi minori a parità di fascia
2- costi manutenzione minori
3- prestazioni più brillanti

CONTRO

1- durata motore inferiore
2- maggiori consumi a pari prestazioni

GASOLIO (ciclo DIESEL)

PRO

1- minore consumo a pari prestazioni
minore costo del gasolio
2 – maggior durata nel tempo
3- maggior elasticità ai bassi giri

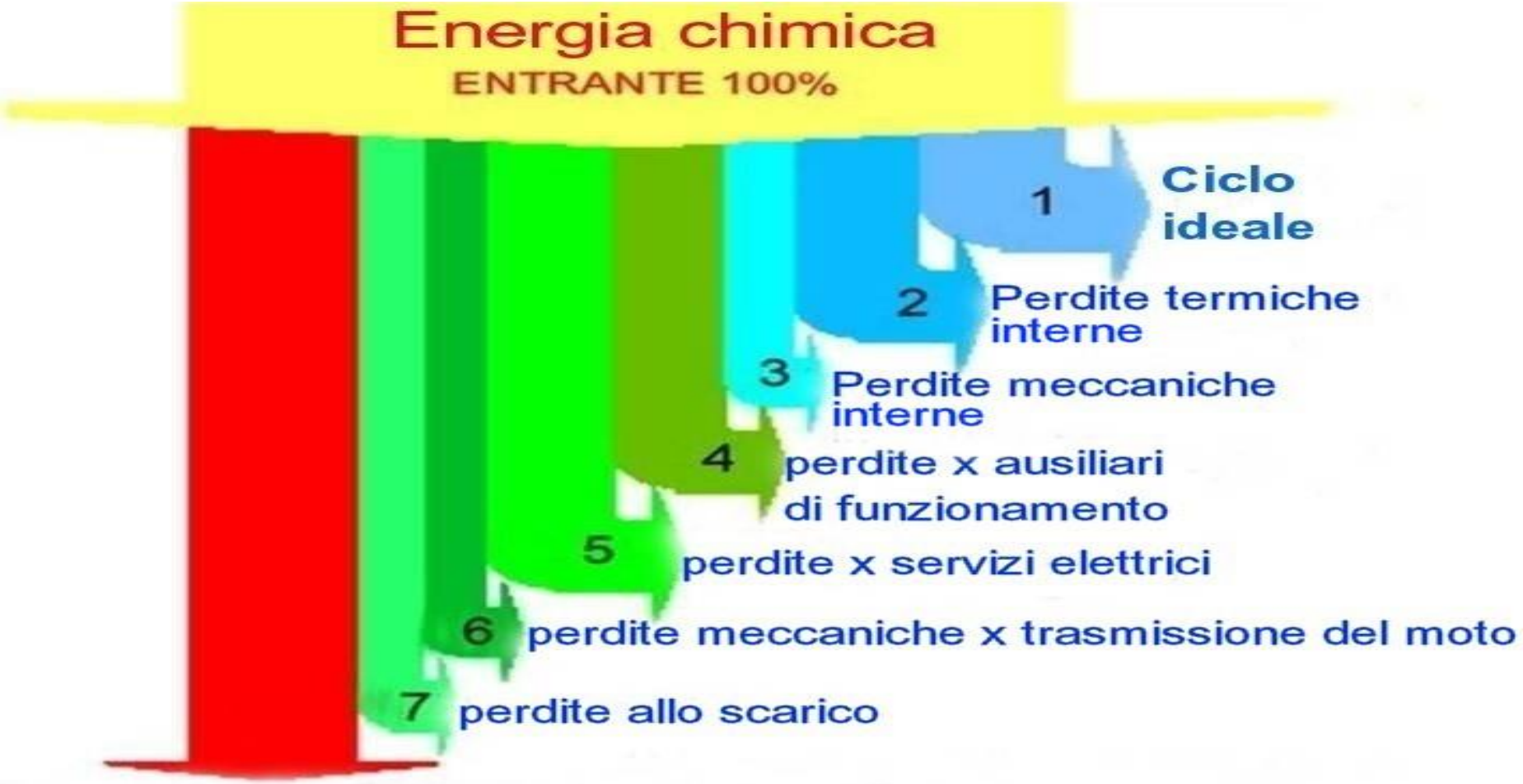
CONTRO

1- tecnologia più sofisticata
maggiori costi specie nei nuovi
2- prestazioni meno brillanti

Alcuni valori di rendimento

Rendimento termodinamico ideale (con K = 1,2)						
V1/V2	8	10		18	20	22
V3/V2				1,5	1,5	1,5
OTTO	34%	36,9%				
DIESEL				41,4%	42,6%	43,7%

Le perdite principali di un MCI

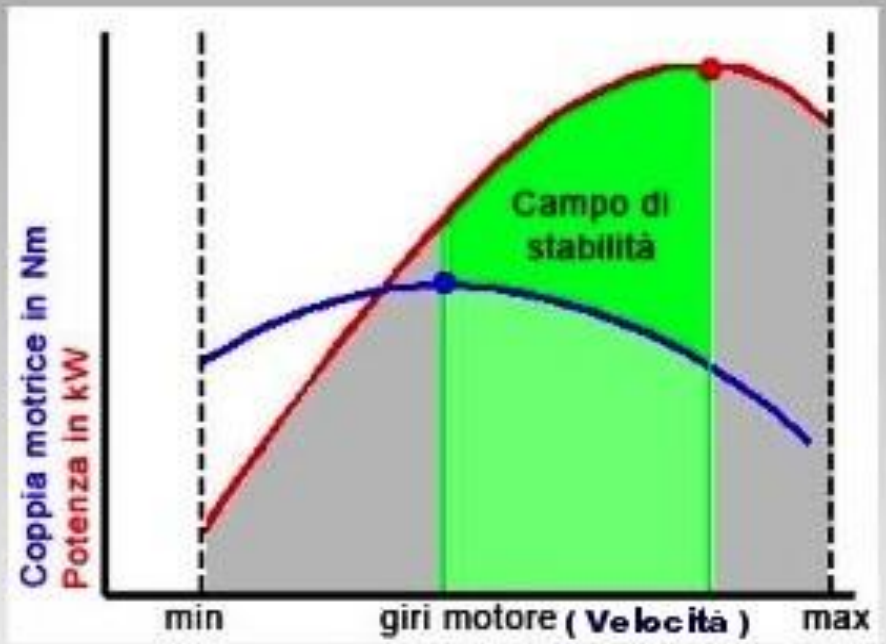


ENERGIA MECCANICA
ALL'ASSE RUOTA

OTTO --> ca 15-20%
DIESEL --> ca 25-30%

Caratteristica meccanica generica del MCI
(potenza e coppia in funzione del numero di giri)

Campo di stabilità

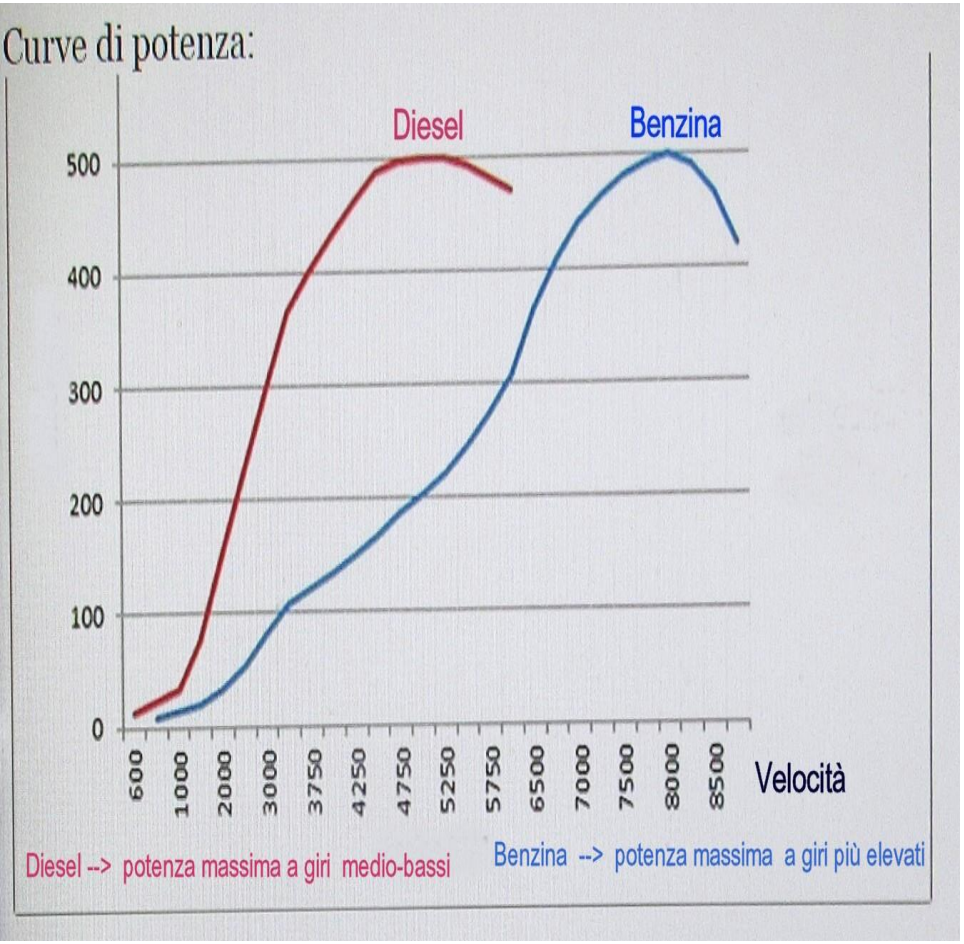


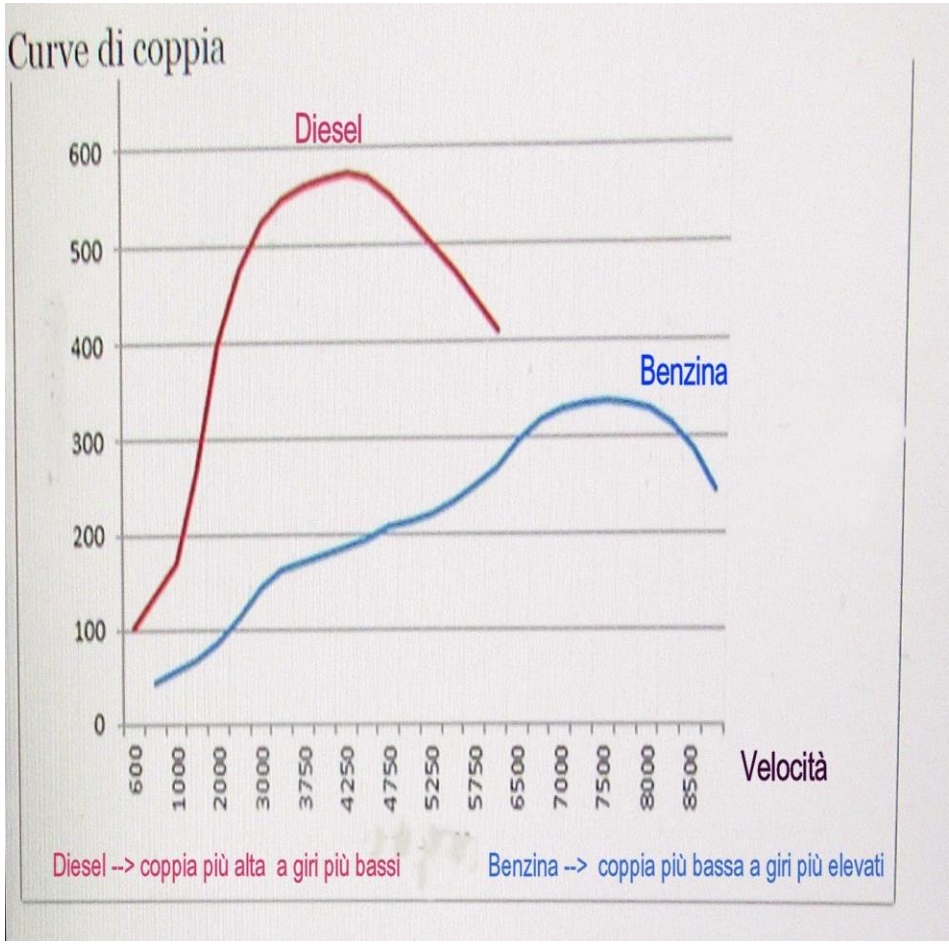
Marciando con regime nel campo verde, non serve usare il cambio.
Se il regime entra nelle zone in grigio, occorre variare rapporto del cambio.
Una maggiore zona verde significa un motore più elastico.

Campo di stabilità

Nel diagramma delle curve caratteristiche, è la zona compresa tra il regime di coppia massima e quello di potenza massima. E' questa la zona di rotazione del motore che consente la marcia senza dover intervenire nel cambio. Al diminuire della coppia, aumenta la potenza. Se il veicolo incontra una pendenza in salita, la potenza scende ma aumenta la coppia fino al punto che, cominciando a decrescere anche la coppia, occorre ridurre la marcia.

Esempi di caratteristica meccanica Diesel - Otto (potenza e coppia in funzione del numero di giri)





Conclusione su Otto - Diesel

Il motore a benzina ciclo Otto lo avevano dato per superato a confronto con le migliori prestazioni del ciclo Diesel.

Ma dopo anni di crescente sviluppo del Diesel in Europa e specialmente in Italia , ora i motori a gasolio sono sempre più imputati come la causa principale dell'inquinamento ambientale e, prima in Europa ed ora anche in Italia, le Amministrazioni e le norme Euro lo stanno penalizzando sempre più.

Il ciclo Otto a benzina sta tornando alla ribalta specialmente nel settore in crescita dell'ibrido in tandem con l'elettrico .

Evoluzione e declino del Diesel

La nascita: Berlino, 1892

Brevetto a Berlino del primo MCI a ciclo gasolio, a nome **Rudolf Diesel**.

Obiettivo → aumentare **l'efficienza** dei primi motori a **benzina** .

Il diesel da subito **consumava meno** dei contemporanei motori a "ciclo Otto" e inoltre dimostrò maggiore durata e affidabilità

Il gasolio era poi più economico poiché non richiedeva i processi di raffinazione del petrolio per ottenere la benzina.

Limiti iniziali di natura tecnologica legati alla difficoltà di mettere a punto i sistemi di alimentazione (iniettori e pompa gasolio).

Primi applicazioni nel settore navale con grandi potenze dal 1904 in poi.

Successive importanti applicazioni:

- Trattori agricoli
- Autocarri
- Motrici ferroviarie
- In Italia la “littorina” Fiat-Breda negli anni “30

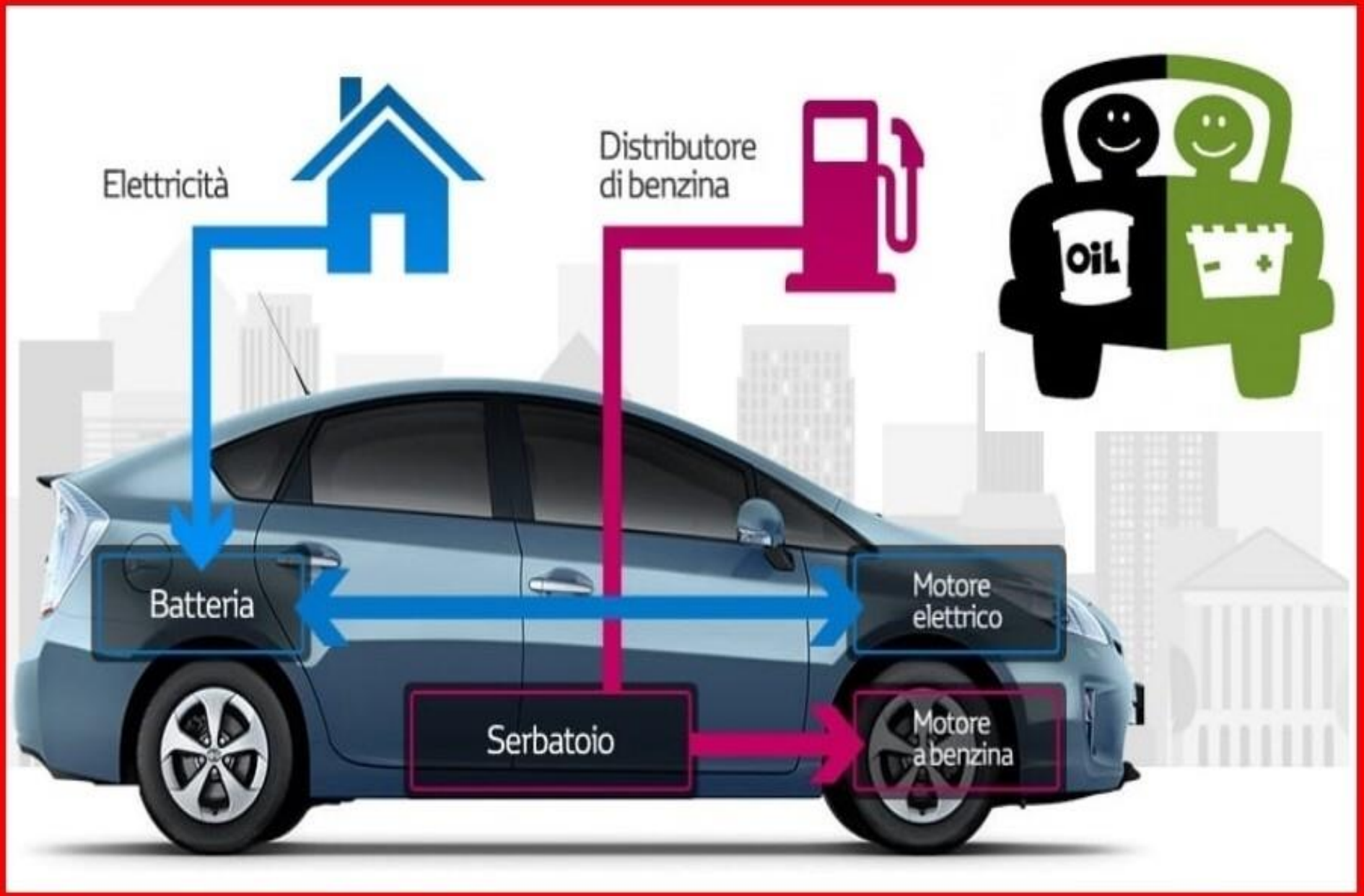
Prima applicazione per le auto → **1936 con la Mercede 260D (** olimpiadi Berlino)
In Italia la prima diesel è la **1400D del 1953**
Ma negli anni "50 il maggior sviluppo del diesel è in campo commerciale, mezzi di opera e macchine agricole ecc.

Principali evoluzioni tecnologiche:

- **Turbodiesel** dai primi anni "80
- **Common rail ad iniezione diretta** (brevetto Fiat → Bosch) 1994 → 1997
- **Multijet common-rail 2002 → 2003 e successive** in parallelo alle normative euro
- Introduzione di sistemi filtranti per ridurre le emissioni → filtro FAP introdotto da PS a partire dal 2000.

Il declino arriva nel 2015 con lo scandalo "dieselgate" della Volkswagen negli USA poi si diffonde a macchia d'olio soprattutto in Europa cioè il mercato storicamente maggiore.

Attualmente la tendenza della maggioranza dei Costruttori è di abbandonare l'uso esclusivo dei Diesel nei prossimi anni, anche se si stanno tuttora studiando soluzioni in tandem con motore elettrico nel settore dell'ibrido attualmente dominato dalla soluzione Otto-Elettrico.



Tecnologia IBRIDA **UTE 18-19**

Nota generale sulla fonte dei dati

Si precisa che tutti i dati riportati sono stati desunti o rielaborati dalle molteplici varie fonti reperibili sul Web tra le quali le più affidabili ed accessibili:

- Brochure e data base fornite dalle case costruttrici, in Italia o all'estero

- Report di enti specializzati :

  Quattroruote, Automobile.aci.it , Motori.it, Motor1.com , Repubblica motori, Corriere motori , MilanoFinanza motori , GreenStyle, Qualenergia.it

- Wikipedia

Gradi di ibridizzazione

Per grado d'ibridizzazione s'intende il rapporto (Hr) tra la potenza elettrica PE e la totale elettrica + Termica (PE+PT)

1 - MICRO-IBRIDO

→ **livello base** di elettrificazione dove però il motore elettrico (di piccola potenza) **non ha il ruolo attivo nella propulsione** del veicolo.

In pratica è solo un dispositivo **start&stop più evoluto (** spegne il motore durante le soste per risparmiare carburante e lo riavvia per ripartire).

In più si ha la gestione della **ricarica della batteria (** frenata rigenerativa).

→ **Hr minore di 0,10-0,15**

2 - MILD-HYBRID (IBRIDO PARZIALE)

→ il motore elettrico inizia ad avere un **ruolo attivo** nella propulsione dell'auto anche se **non è ancora in grado di muoverla da solo**. Ma è in grado di fornire surplus di potenza nelle fasi di accelerazione e quando il motore termico consuma e inquina di più.

→ **Hr = 0,2 – 0,3**

3 - FULL-HYBRID (HEV):

Sono le **ibride vere e proprie**, quelle in cui il motore elettrico e quello termico lavorano assieme più o meno alla pari, dandosi **supporto continuo e reciproco** per offrire la migliore efficienza o le massime prestazioni.

Dispongono anche di una **modalità di marcia completamente elettrica** che permette alla vettura di muoversi a zero emissioni. Nelle fasi passive (frenate, rallentamenti, discese) il motore elettrico funziona da generatore e recupera l'energia cinetica passiva ricaricando la batteria.

→ **Hr = 0,35 – 0,45**

4 – IBRIDE PLUG-IN (PHEV)

→ sono l'evoluzione delle full hybrid e hanno come obiettivo quello di aumentare l'utilizzo della parte elettrica grazie alla possibilità di ricaricare la batteria anche da una sorgente esterna, aumentandone l'autonomia e riducendo la necessità di ricorrere al motore a combustione interna.

→ **Hr = 0,40 – 0,60**

Le tre fondamentali modalità ibride

1 - **IBRIDO IN SERIE** → il motore termico produce l'energia che, a seconda delle necessità, viene immagazzinata nel sistema di accumulo o inviata direttamente al motore elettrico preposto alla trazione. La trazione è quindi **unicamente elettrica.**

2 – IBRIDO PARALLELO → sia il motore termico che l'elettrico sono preposti alla trazione del veicolo. Possono lavorare sullo stesso asse per mezzo di frizioni gestite elettronicamente, o agire sui due assi separatamente ma gestiti dalla centralina elettronica. L'ibrido parallelo permette di dimensionare accumulatori e motore elettrico non per la piena potenza di trazione ma per una frazione di essa, andando a diminuire le dimensioni ed i costi di questi componenti.

Soluzione preferita a quella serie.

3 – **IBRIDO MISTO** noto anche come sistema HSD (Hybrid Sinergy Drive) della Toyota-Lexus da sempre usato da oltre venti anni pur con quattro step evolutivi .

E'una sintesi della serie e del parallelo. Il motore termico e l'elettrico sono collegati da un **rotismo epicicloidale**. In funzione dello stato di carica delle batterie e delle fasi di guida, una centralina gestisce il flusso energetico dal MT o elettrico e le ruote motrici , eliminando la necessità del cambio. Il motore termico ha un ciclo tipo **Atkinson**, cioè un ciclo Otto con fase di espansione più lunga (chiusura ritardata della valvola aspirazione) → riflusso di una parte della miscela aria/carburante nel condotto di aspirazione→ riduzione dei consumi.

Le grafiche seguenti riportano gli schemi di principio delle tre soluzioni ibride .

Ibrido serie

Motore termico svincolato dalle ruote motrici → potenza meccanica al generatore che la converte in potenza elettrica → alimentazione batterie/motore elettrico.

Motore elettrico è l'unico ad azionare le ruote motrici .

Modalità di funzionamento

1- **Modo batteria**: il motore termico è spento e l'azionamento di trazione è alimentato dalla sola batteria

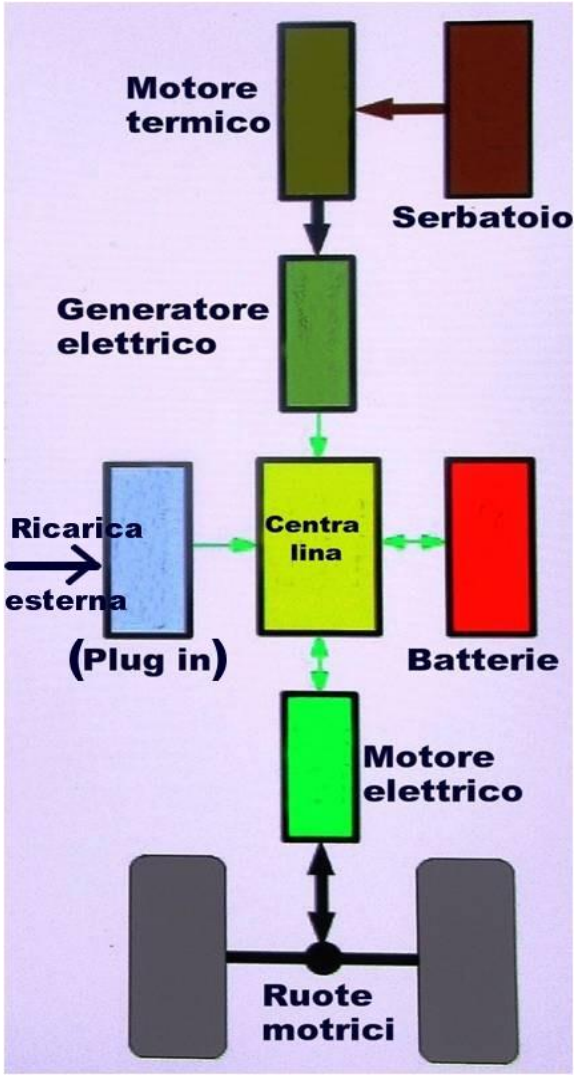
2 - **Modo motore**: l'azionamento di trazione è alimentato dal motore termico/generatore

3 - **Modo combinato**: il motore termico/generatore e la batteria alimentano l'azionamento di trazione

4 - **Modo power split**: il motore termico/generatore alimenta sia l'azionamento di trazione che la ricarica delle batterie

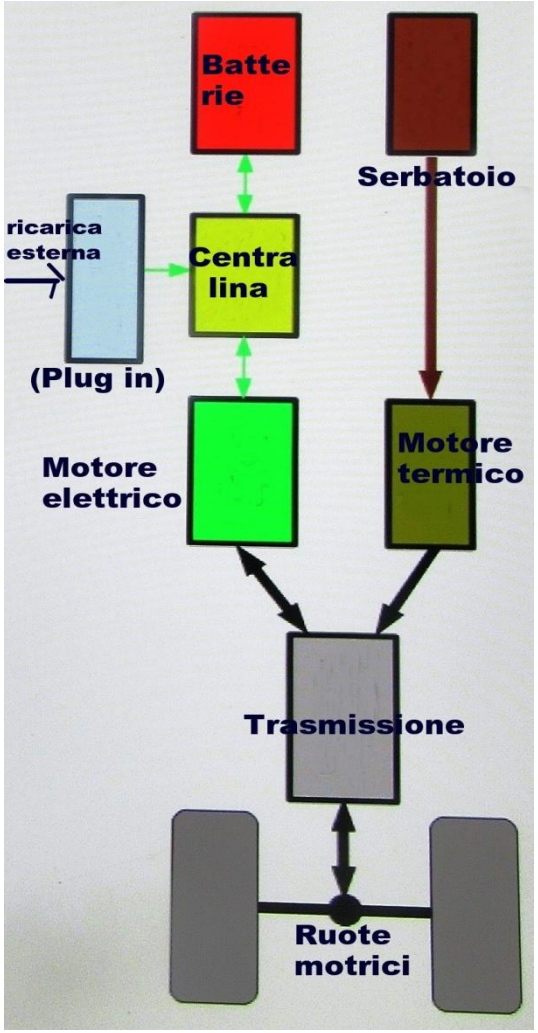
5 - **Modo frenata rigenerativa**: il motore elettrico funziona da generatore in fase di frenata, rallentamento, discesa, , trasformando l'energia cinetica passiva in energia elettrica che viene immagazzinata nelle batter;

6 - **Modo ricarica esterna**: se previsto il plug-in, il veicolo da fermo è connettibile alla rete esterna per la ricarica.



Ibrido parallelo

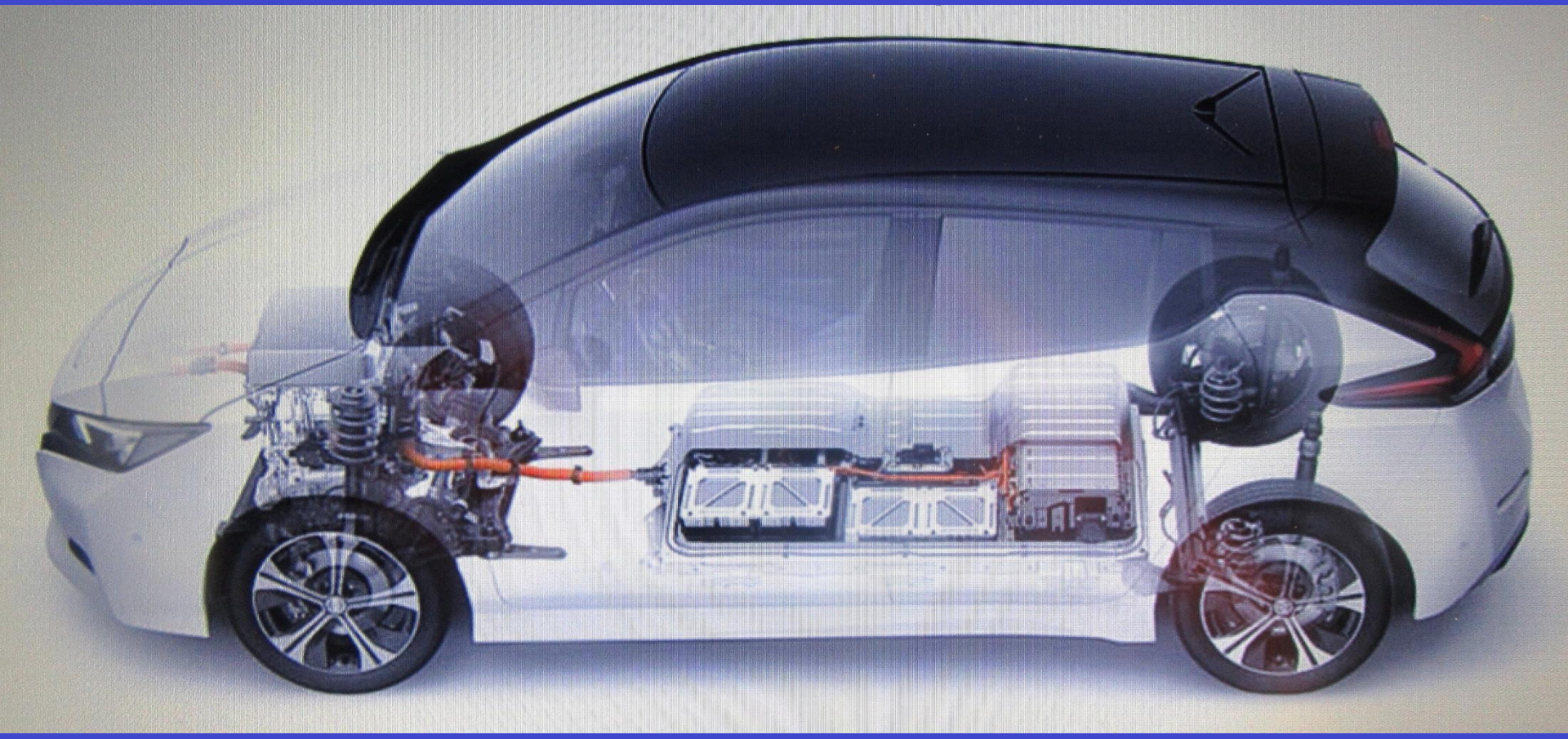
- I due motori termico ed elettrico sono inseriti in parallelo e connessi tramite un nodo di trasmissione per sommare le due potenze .
- Il motore termico è quindi vincolato alle ruote per cui la sua velocità di rotazione e il rendimento dipendono dalla velocità delle ruote.
- Il motore termico è dominante, fornisce la potenza continuativa mentre il motore elettrico ha la funzione di fornire la maggiore potenza nei momenti di necessità e per compensare le mancanze tipiche del motore termico (spunto a basso regime, recupero di energia in frenata).
- Questa architettura necessita di un cambio di velocità (manuale o automatico) → trasmissione più complessa dell'ibrido serie.
- Il pacco batterie risulta di dimensioni più contenute rispetto ai veicoli ibrido serie → minori tempi di ricarica e meno volume e peso.
- Questa soluzione è più adatta al mix di percorsi urbani ed extraurbani.



Riepilogo funzionalità dell'ibrido

Funzione dell'ibrido Sistema ibrido	Stop & start	Trazione elettrica	Recupero energia in frenata	Marcia soltanto elettrica	Ricarica elettrica esterna
Veicolo non ibrido	Possibile	NO	NO	NO	NO
Micro HEV	SI	NO	Minimo	NO	NO
Mild HEV	SI	Limitata	SI	Minima	NO
Full HEV	SI	SI	SI	SI	NO
Plug-in HEV (PHEV)	SI	SI	SI	SI	SI

Tecnologia Elettrica



UTE 18 - 19

Perché è meglio un motore elettrico rispetto al motore a combustione (Otto e Diesel) ?

A parte l'ovvio vantaggio di assenza totale d'inquinamento **diretto** del ME .

i vantaggi tecnici fondamentali sono i seguenti:

- **Rendimento nettamente maggiore**

  circa il 90 % per l'elettrico rispetto ai massimi teorici di circa 35 % per il ciclo Otto e del 42 % per il ciclo Diesel
- **Assenza di cambio e frizione** grazie al comportamento della caratteristica coppia velocità sotto carico controllata e regolata elettronicamente
- **Assenza dei circuiti di lubrificazione e di raffreddamento**
- **Silenziosità e assenza di vibrazioni**
- **Freno motore con ricarica batteria :**

  → nelle discese recupero parziale dell'energia potenziale
- **→ nelle frenate recupero parziale dell'energia cinetica**
- **Consumo nullo ad auto ferma** (→ NO emissioni di scarico)
- Controlli e gestione dei parametri funzionali , **totalmente elettronici.**
- **Rapporto potenza/peso nettamente migliore**

  (ad esempio ME Tesla S → 8kW/Kg MTbenzina Audi → circa 1 kW/Kg)

Una precisazione sulle elettriche

I veicoli elettrici in verità non sono esenti dal produrre inquinamento: le batterie vanno ricaricate e l'energia elettrica necessaria spesso è prodotta (almeno attualmente) da centrali termoelettriche, che bruciano quindi petrolio, gas o carbone.

Però bisogna considerare che:

- **l'inquinamento rimane comunque localizzato in zone concentrate poco popolate, e non distribuite sui territori metropolitani.**
- **le auto elettriche quando sono ferme in coda non consumano elettricità e non inquinano**
- **se l'energia elettrica è prodotta da centrali a energia rinnovabile (FV, Eolica, Idraulica) l'intera filiera di utilizzo è praticamente a zero emissione.**
- **I motori elettrici godono di un'efficienza maggiore (circa il 90 %), contro il limite termodinamico nettamente inferiore dei MCI (34-36% nel ciclo Otto , 41-43% nel ciclo Diesel).**
- **i sistemi di controllo consentono una serie di vantaggi funzionali legati alla versatilità e alla multimedialità d'uso tipiche della gestione elettronica.**

Quali sono ad oggi gli svantaggi tecnologici ?

- **Il primo è la capacità delle batterie in relazione anche al loro peso per unità di energia accumulabile e la conseguente autonomia tra una carica e l'altra .**

- **Il secondo problema ancor più determinate del primo è l'ancora elevato tempo di ricarica delle batterie. Attualmente i sistemi di ricarica sono i seguenti:**

  Ricarica lenta ad esempio dalla rete domestica ma in pratica non gestibile con le esigenze del trasposto quotidiano

  Ricarica veloce con tempi che scendono ma con il rischio di una maggiore usura della batteria → richiedono elevate potenze di ricarica → non adatti alle ricariche domestiche

  Ricarica parziale → fino a 50% o 80% della capacità → richiede elevate potenze

N.B. → Solo la tecnologia Fuel Cell offre tempi di ricarica equivalenti a quelli dei motori a combustione (cariche di H2).

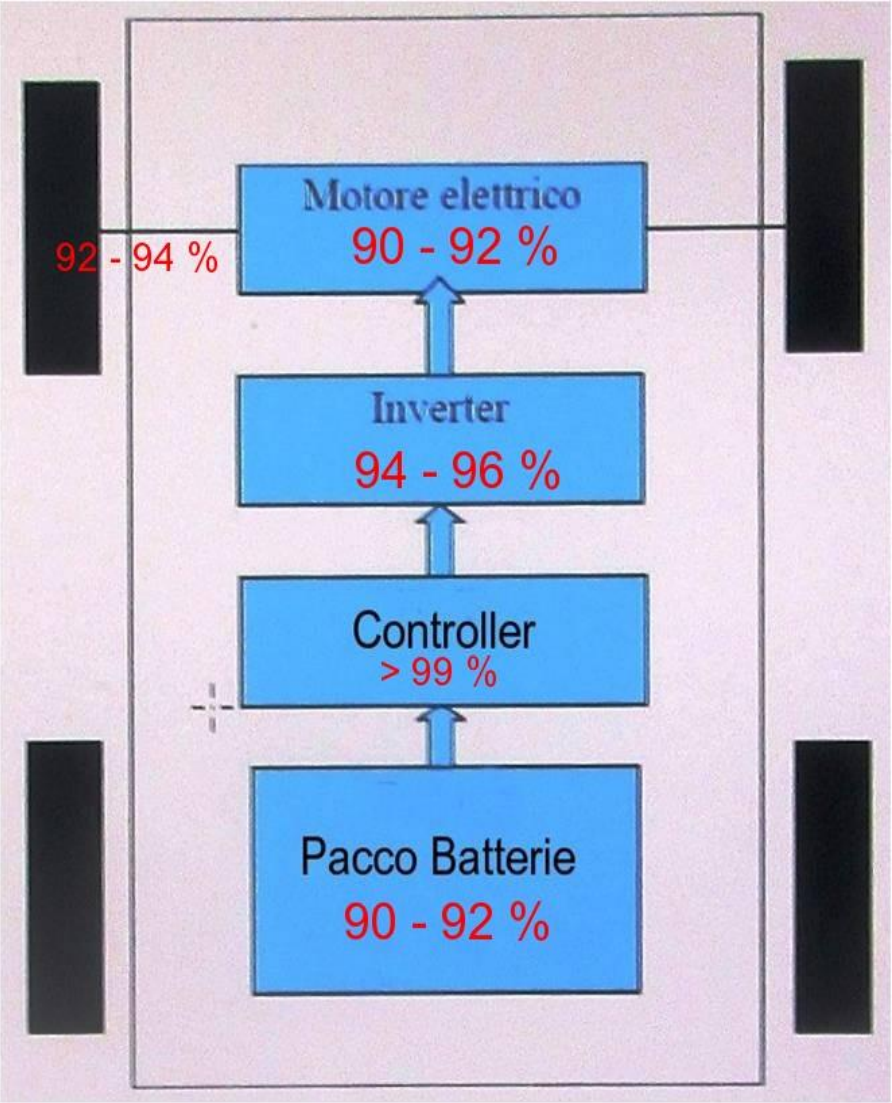
Una soluzione alternativa potrebbe essere : la batteria "muletto"
vale a dire la sostituzione della batteria scarica con una carica disponibile a rotazione nelle stazioni di servizio → standardizzazione dei tipi di batterie e dell'hardware di montaggio.

Rendimento totale della BEV

Il rendimento totale tra energia chimica immagazzinata nella batteria e l'energia meccanica utile all'asse motore è mediamente del

70-75%

Nettamente superiore alle auto MCI



Confronto tra motore CC e CA

I motori CC hanno due punti deboli: il **collettore** e le **spazzole** che non esistono nei motori CA. L'assenza del collettore permette al motore CA di raggiungere velocità maggiori e di poter essere alimentato con tensioni più elevate che, nel motore CC, non sono possibili per la vicinanza delle lamelle del collettore.

Il motore CA ha una maggior rapidità di risposta elettrica → più rapida variazione di corrente e quindi di coppia, mentre nel motore CC c'è il problema della commutazione.

Il momento di inerzia di un motore CA, a parità di altre caratteristiche, è minore di quello dei motori CC i quali, per problemi di commutazione, devono avere diametri maggiori.

Un minor momento di inerzia significa una maggior accelerazione a parità di coppia, quindi una maggior prontezza.

Le manutenzioni del motore CA è praticamente trascurabile mentre per il motore CC è necessaria la periodica sostituzione delle spazzole e la rettifica del collettore.

La robustezza del motore CA è maggiore del motore CC, pregiudicata dagli avvolgimenti di rotore il cui isolamento si deteriora per le continue sollecitazioni termiche e meccaniche.

Dimensioni e peso di un motore CC sono superiori a quelle di un motore CA di pari potenza.

CONCLUSIONE : il motore CA , nelle applicazioni di potenza nella e-mobility, è nettamente superiore al motore CC. L'elettronica consente la possibilità di regolazione in tensione e frequenza con inverter e controller.

ABC del MAS

- Struttura esterna fissa → ***statore***
- Struttura interna in moto → ***rotore***

Le due strutture sono separate da un ***traferro (1-2 mm)*** di aria

Nelle cave di statore e rotore sono alloggiati gli avvolgimenti elettrici trifase aventi lo stesso passo polare (p = numero paia poli).

- L'avvolgimento di statore viene alimentato dall'esterno con frequenza **f**
- L'avvolgimento di rotore viene chiuso in corto circuito

Le correnti di statore generano attraverso il traferro un campo magnetico rotante con velocità **no = 60 f/p** (n = numero giri al minuto)

- Il campo rotante di statore induce f.e.m. negli avvolgimenti di rotore e quindi si generano le correnti indotte che interagiscono col campo di statore generando un sistema di forze meccaniche che costituiscono la **coppia meccanica motrice .**
- Il rotore quindi ruota nello stesso verso del campo magnetico di statore tendendo a raggiungere la velocità di sincronismo no.
- Finché il rotore gira più lentamente del campo rotante, nel suo avvolgimento viene indotta una f.m.e → coppia motrice; ma se il rotore raggiungesse la stessa velocità del campo non vi sarebbe alcuna variazione di flusso concatenato e quindi non vi sarebbe f.e.m. → non circolerebbe corrente → non vi sarebbe coppia motrice.

- La velocità del rotore raggiunge allora un valore di velocità **n** inferiore a quello del sincronismo in base all'equilibrio tra coppia motrice e resistente dell'asse delle ruote.

La differenza tra la velocità di sincronismo $\mathbf{n_0}$ e quella effettiva del rotore **n** è definita scorrimento assoluto del motore.

Nella pratica si preferisce parlare di **scorrimento relativo** al sincronismo cioè

$$s = (n_0 - n) / n_0 \quad \rightarrow \quad n = n_0 (1 - s)$$

- Lo scorrimento aumenta all'aumentare del carico, cioè della coppia resistente applicata all'albero del motore

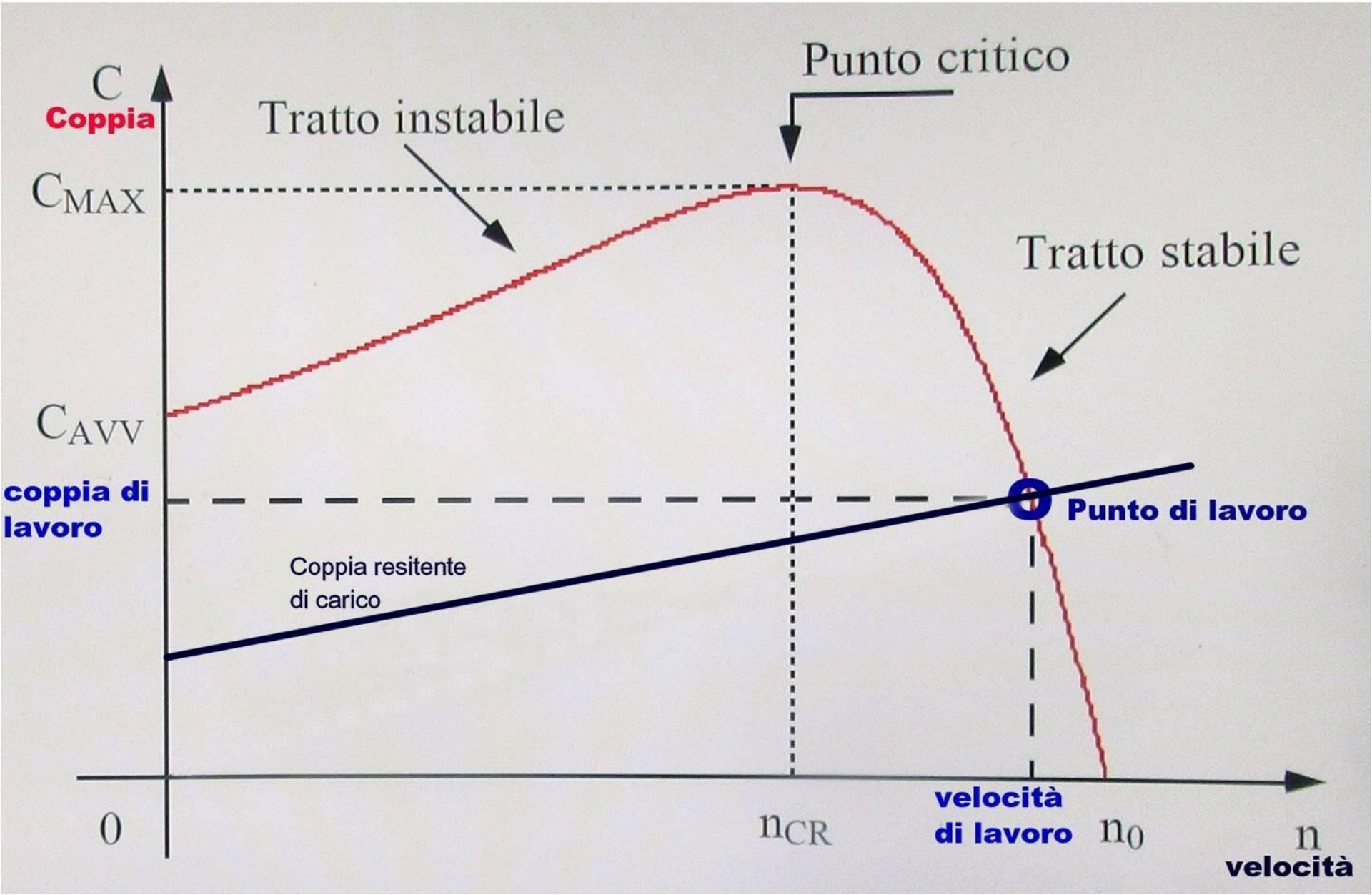
in genere s ha i seguenti valori 0,02 – 0,06 (2% - 6%)

- MAS a vuoto cioè senza carico esterno → s = 0
- MAS fermo cioè all'avviamento → s = 1

- Es : MAS a 4 poli / 50 Hz con scorrimento s = 4%

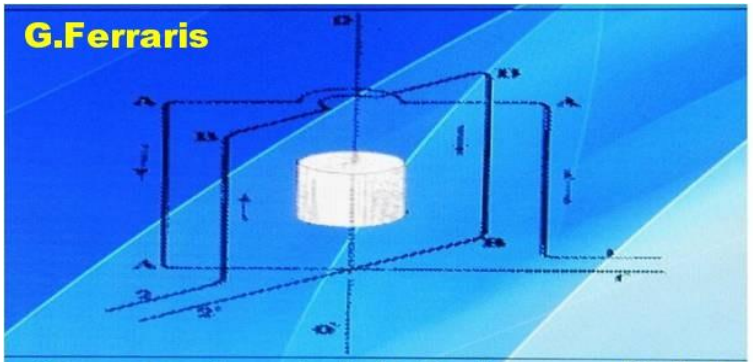
→ n_o = 60*50 / 2 = 1500 rpm → **n** = 1500(1-0,04) = 1440 rpm

Caratteristica meccanica tipica del MAS



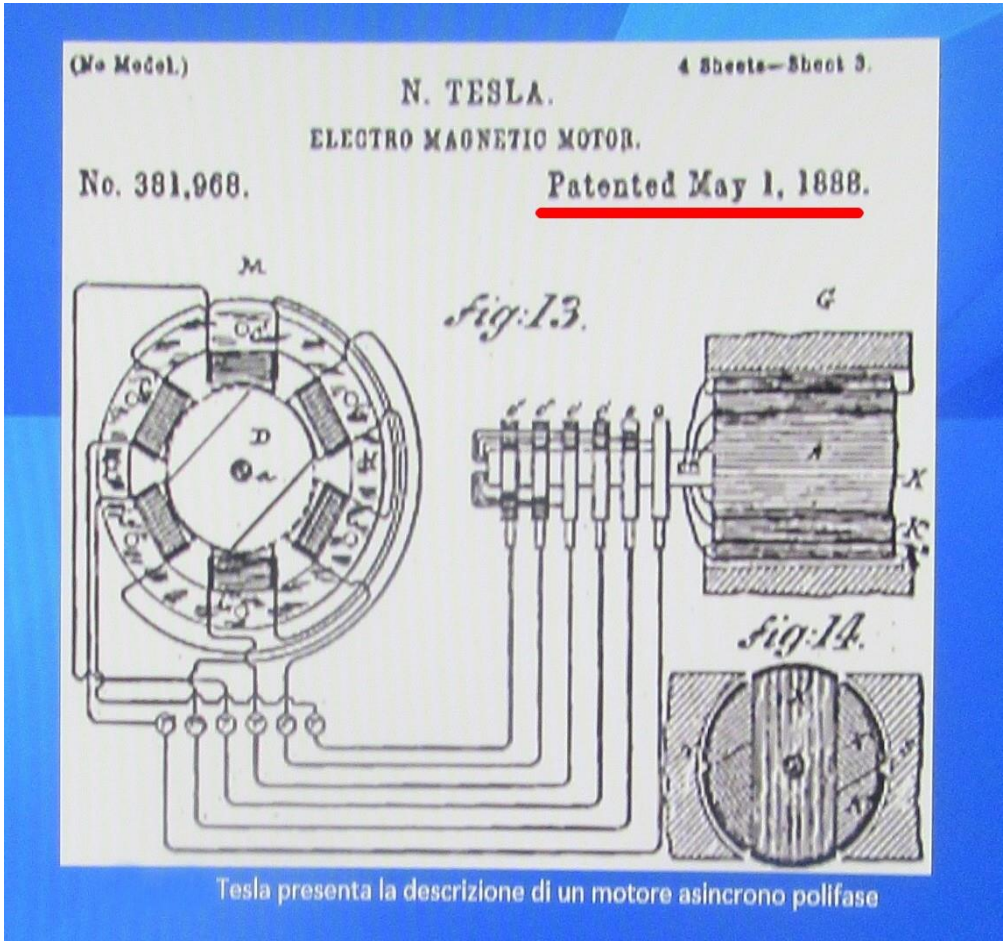
Approfondimento storico

- Galileo FERRARIS → autunno 1885 presenta sperimentalmente il CMR generato da 2 bobine perpendicolari → aprile 1888 pubblica lo studio e la realizzazione di un primo MAS , però non brevettò mai l'invenzione
- Nikola TESLA → dopo molti studi (però non documentati) ottiene 1° maggio 1888 il brevetto del MAS che poi viene industrializzato dalla Westinghouse



Campo mgnetico rotante tra 2 spire perpendicolari

Questo è uno dei primi motori a campo magnetico rotante costruito



Tesla presenta la descrizione di un motore asincrono polifase

Motore Sincrono a magneti permanenti

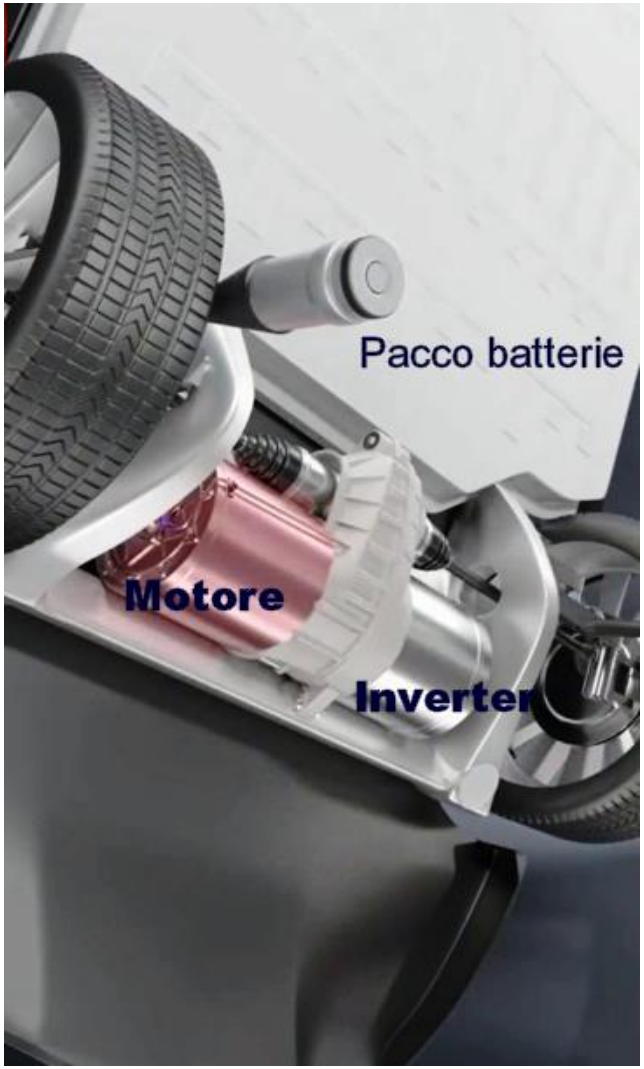
- il motore sincrono CA a magneti permanenti è composto da un rotore magnetico e da uno statore che contiene gli avvolgimenti elettrici.
- Il motore è in grado di erogare potenze costanti in un campo ampio di velocità ad esempio 3.000 – 10.000 rpm.
- Questa possibilità, consente di ridurre gli ingombri del rotore e di aumentare il rendimento della macchina.
- Oggi si fanno MS con potenze molto superiori a 100 kW.
- L'insieme del motore sincrono a magneti permanenti, del suo alimentatore e controllo viene usualmente definito **"motore brushless"**.
- I MS con magneti permanenti presentano molti vantaggi :
  - nessuna perdita nel rotore → maggior rendimento
  - nessuna necessità di una sorgente esterna per creare il c.m. di rotore
  - grande coppia per unità di volume
  - nessuna manutenzione del rotore.

Tipologia motori elettrici

	IBRIDO HEV		ELETTRICO BEV	
	SINCRONO	ASINCRONO	SINCRONO	ASINCRONO
TOYOTA	S MP	---	---	---
TESLA	---	---		AS avvolto
NISSAN	---	---	S MP	---
SMART	---	---	S avvolto	---
RENAULT	---	---	S avvolto	---
BMW	---	---	S avvolto	---
VOLKSWAGEN	---	---	S MP	---
AUDI	---	---	---	AS avvolto
MERCEDES	---	---	---	AS avvolto
JAGUAR	---	---	S MP	---

Pilotaggio del motore elettrico

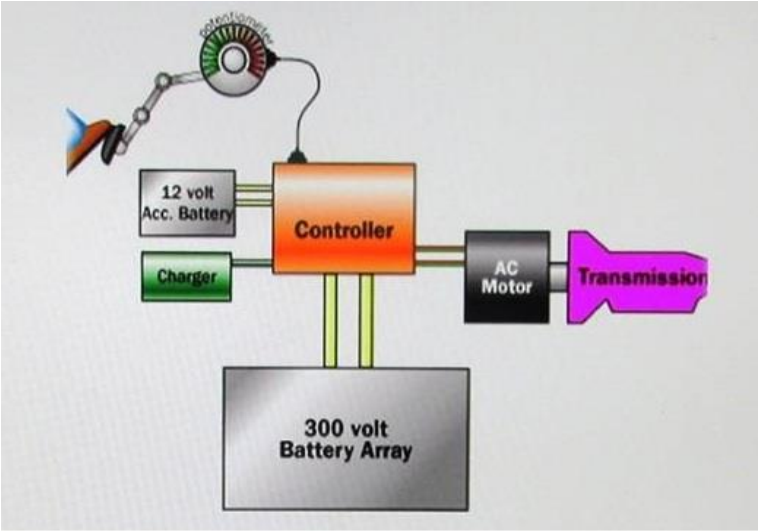
- L'auto elettrica si alimenta dal **pacco batteria la cui** energia in continua deve però deve però essere convertita e controllata in alternata .
- A questo scopo, viene utilizzato un **inverter** che grazie ai sistemi di regolazione elettronica incorporati :
- **→ controlla la tensione di alimentazione → potenza e coppia**
- **→ controlla la frequenza → velocità**
- **L'inverter col sistema di regolazione è quindi il cervello che gestisce la funzionalità dell'auto.**



- Pur con diverse architetture ed ingegnerizzazioni, il gruppo inverter – pilotaggio è assemblato vicino al motore elettrico col quale quasi sempre fa un gruppo meccanicamente unico.
- La figura mostra ad esempio la soluzione adottata da Tesla (model S) dove il gruppo è un tuttuno sull'asse dell'avantreno e retrotreno.

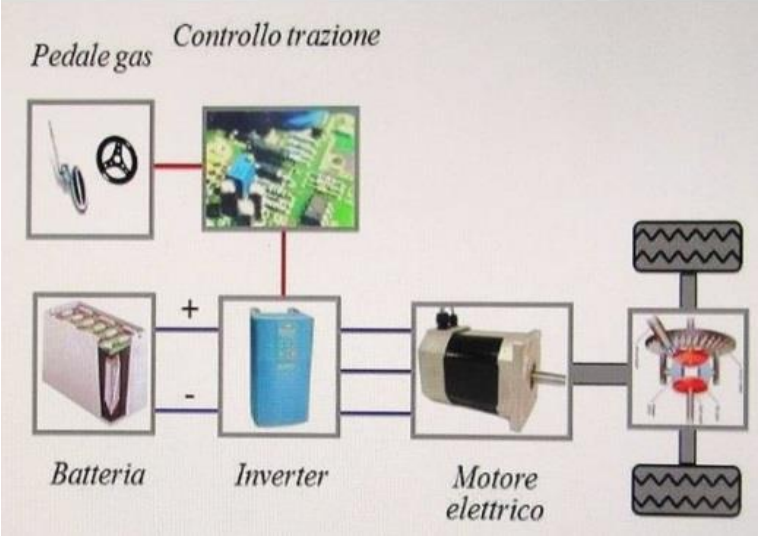
Regolazione col pedale

Nei VE il pedale è in realtà un trasduttore di segnale di regolazione della velocità e delle funzionalità del ME come mostrano le grafiche Accanto che riportono due schemi base d principio.



- A → il pedale tramite potenziometro variabile invia un segnale di comando al controller dell'inverter,

- - B il pedale pilota una centralina elettronica che "interpreta" tutte i movimenti /posizioni del pedale e invia di conseguenza i relativi comandi al gruppo inverter.



Pacchi batterie

Il problema delle batterie è stato , è , e sarà per molto tempo il **PRIMO** problema nello sviluppo della e-mobility.

Lo sviluppo, l'architettura, il design dell'auto elettrica sono fortemente condizionati dalle batterie.

Attualmente RS e Tecnologia lavorano su più fronti.

1°- Ingegnerizzare in modo ottimale l'allocazione dei pacchi batteria sulla piattaforma modulare dell'auto

2°- Migliorare le prestazioni della tecnologia attuale al Litio (pesi, ingombri, capacità, caricabilità)

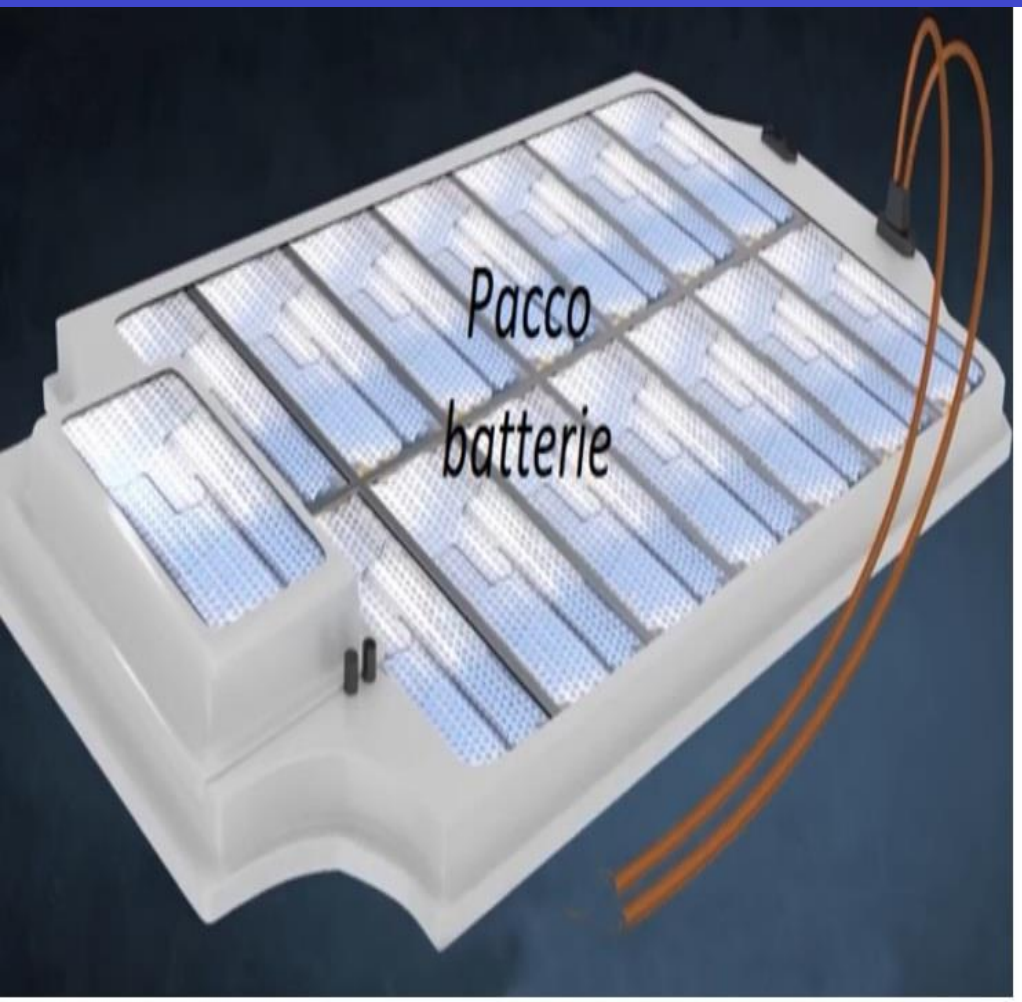
3°- RS per nuovi materiali innovativi e con migliori caratteristiche del Litio

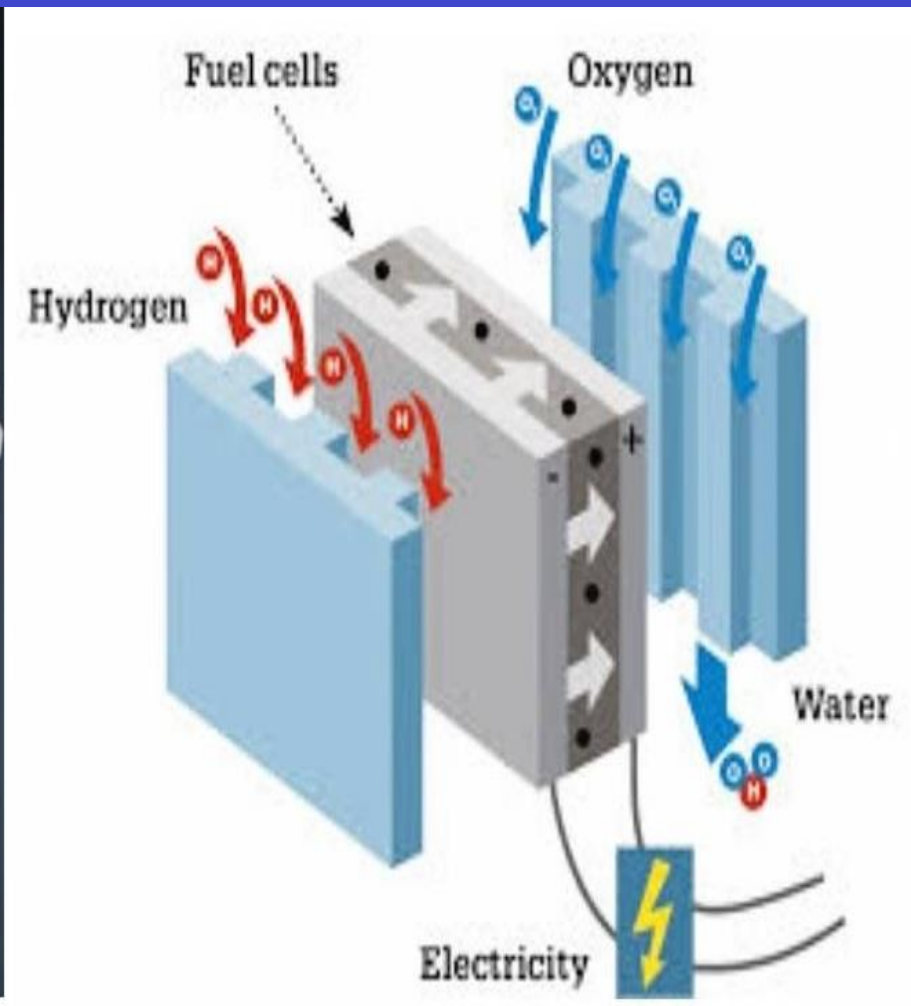
La conseguenza sul mercato è che il costo finale è ancora troppo elevato,tanto che alcuni Costruttori offrono l'alternativa di batterie di 1° equipaggiamento in leasing.

Sta emergendo poi un altro fondamentale problema tipico peraltro di molti prodotti elettronici e similari (ad es. cellulari, computer, pannelli fotovoltaici).

Riciclo e smaltimento ecologico e sostenibile a fine ciclo.

Batterie e Fuel Cell





ABC delle batterie

- **Capacità C** → carica elettrica immagazzinabile **(amperora Ah)**
- **Tensione nominale Vn** → tensione a vuoto **(V)**
- **Corrente nominale In** → massima corrente erogabile sotto carico **(A)**
- **Potenza nominale** → prodotto tensione x corrente = **Vn*In) (Watt)**
- **Energia immagazzinata** → energia totale erogabile = capacità x tensione nominale = **C*Vn = Ah*Vn** = **(Wh)**

  nella pratica l'unità corrente è il kWh
- **Rendimento energetico** → rapporto tra energia totale erogata nella scarica e energia assorbita nella carica precedente **(tipico 96 - 98%)**
- **Energia specifica** → energia disponibile per unità di massa **(Wh/Kg**) oppure per unità di volume (Wh/litro).

Es: batteria da 500Ah a 48 V con rendimento energetico di 96% pesante 150Kg

- Energia nominale W = 500x48 → 24.000VAh → 24 kWh

Dopo una carica completa al 100% può erogare il 98% dell'energia accumulata cioè 24*0,96 = 23,04 kWh Energia specifica → 24/150 = 0,16 Wh/Kg

Sistema BMS per le batterie Li-ion

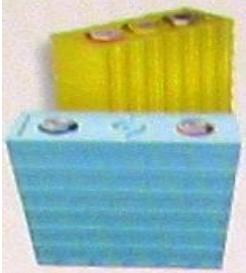
Sistema elettronico di controllo e governo delle batterie

(**B**attery **M**anagement **S**ystem)

Monitoraggio e controllo :

- **della temperatura**: pericolo di surriscaldamento → fumo → scoppio
  se in sovratemperatura il BMS distacca la batteria dall'utilizzatore
- **della tensione minima:** per evitare danni da sovrascarica, → isola la batteria
  se la scarica è arrivata al limite consentito.
- **della tensione massima**: in fase di ricarica o sovratemperatura in fase di c
  frenata -
  recupero della batteria .
- **della corrente:** il BMS regola il valore della corrente ai valori ottimali
- **della fase di ricarica**
- **dei dati funzionali :** equalizzazione elettrica delle celle - livello di carica
  nr cicli di carica

Formati standard celle Li-ion



Formato PRISMATICO

Contenitore metallico
--> alte densità di energia
--> ottimsa dissipazione di energia
--> ottimo sfruttamento dello spazio nell'assemblaggio dei moduli

Formato CILINDRICO

di piccole dimensioni
--> 18-650 l=65mm D= 18mm
--> 2170 L=70mm D=21mm

Formato BUSTA

Più leggere perchè non hanno il contenitore metallico
--> miglior sfruttamento dello spazio di assemblaggio
--> l'elettrolita è un polimero
--> alternativa alle prismaticheutilizzano tecnologia

Il pacco batterie

Assemblaggio tipo del pacco batteria:

- Celle elementari collegati tra loro
- Moduli con più celle
- Pacco batterie formato da più moduli
- I vari collegamenti, possono essere in serie (si sommano le tensioni) o in parallelo (si sommano le correnti)

Nelle attuali architetture (piattaforme) il pacco batteria è montato nella parte centrale del pianale di cui costituisce un tuttuno, migliorando tra l'altro la rigidità trasversale del veicolo.

Vediamo 3 esempi relativi alla **Tesla** e i 2 modelli più venduti in Europa 2018 (**Nissan Leaf, Renault Zoe)**.

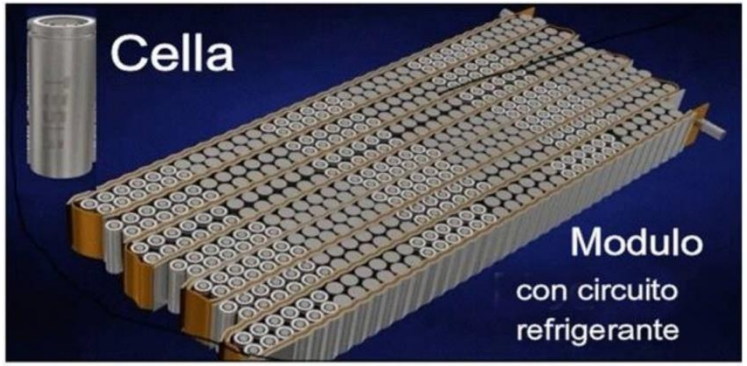
Pacco batteria Tesla S

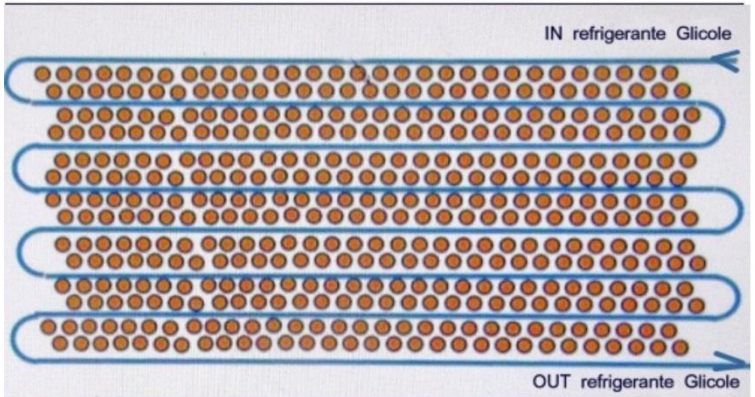
- La cella elementare è una batteria Li-ion 18-650
- Il modulo è composto da 444 celle collegate a gruppi serie e parallelo.

  Un circuito avvolgente provvede a refrigerare per mantenere bassa la temperatura delle celle e distribuire la temperatura in modo uniforme
- Il pack finale è composto da 16 moduli

- In totale si hanno 7104 celle
- - 85 kWh per 540 Kg
- Densità specifica

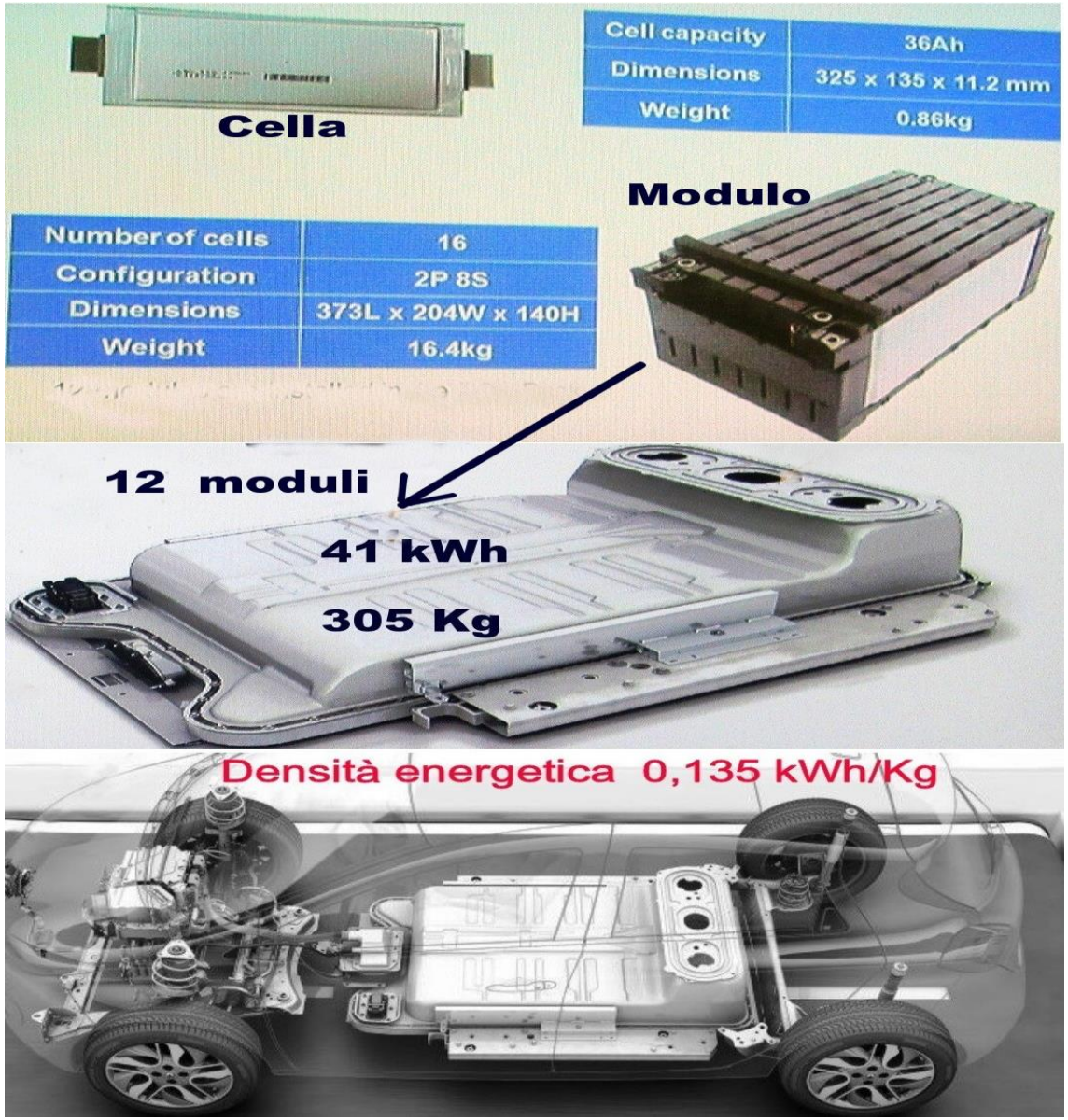
  → 85/540 = 0,157 Wh/Kg





Pacco batteria Nissan Leaf 2018 40kWh

Pacco batteria Renault – Zoe 2018 41kWh



Principali specifiche batterie Li-ion

Modello	Energia kWh	Peso Kg	Indice kWh/Kg
Tesla 3 con 2170	80	480	0,168
Tesla S con 18-650	85	544	0,156
Renault Zoe	41	305	0,134
Nissan Leaf	40	300	0,133
e-Golf	35,8	318	0,112
e-UP	18,7	230	0,081
(500-e Fiat USA)	(24)	(272)	(0,104)

Perché il Litio ?

Il Litio è l'elemento più elettropositivo (potenziale elettrolitico 3.05 V) e il più leggero tra tutti i metalli → elevatissima capacità specifica pari a 3,86 Ah

- **1970** Le prime batterie al litio (anodo di Litio e catodo vari composti) **ma non erano ricaricabili .**

Successivamente le **tappe tecnologiche principali**:

- **1976** si realizzano le prime batterie al Litio ricaricabili elettrodi ad intercalazione cioè in grado di accettare e rilasciare reversibilmente, tra gli elettrodi, ioni litio grazie alla loro struttura cristallina (Whittingham)
- **1982-1983** si scopre che il Litio ha un'ottima affinità colla **grafite** → primo elettrodo di grafite agli ioni di Litio (Bell Labs) e che il **manganese** è un materiale eccellente per affinità col litio
- **1992 la Sony realizza la prima Li-ion** con il carbonio come elettrodo negativo (catodo) e un composto di Litio Cobalto (($LiCo_2$) come elettrodo positivo (anodo).
- Da allora continue ricerca di nuovi mix di materiali per migliorare le prestazioni sino alle attuali più comunemente usate :
- **Li-ion NMC** (**N**ickel-**M**anganese – **C**obalto) → Li-$NiMnCoO_2$
- **Li-ion NMA** (**N**ickel – **M**anganese - **A**lluminio) → Li-$NiCoAlO_2$

Batterie → settore in continua evoluzione per il Litio

Proprietà	Pb	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion attuali	Litio Grafene	Litio Stato solido
Kg / kWh	25	17	14	6-7	minore	minore
Efficienza %	80-85	70-75	70	> 96	(> 99)	(> 99)
Cicli utili	500	1350	1350	1000	maggiore	maggiore
Tempi ricarica				Base 100	minore	minore
Campo temp. °C	20-40	0-40	0-40	0-40	maggiore	maggiore
Costo	--	-- +	+	++	minore	minore

Litio col grafene

Il problema della ricarica per le auto elettriche è il nodo centrale.

I tempi di ricarica delle batterie al litio sono ancora troppo elevati,
per questo i ricercatori hanno allo studio soluzioni innovative.
Fra queste una soluzione alternativa interessante è garantita dall'**uso de grafene.**
RS in corso → **ricercatori Samsung** affiancati da un team della **Seoul National University.** Si tratta di una novità interessante che si basa sull'**utilizzo del grafene combinato ad un amalgama di ossigeno e silicio.**

Si prevedono tempi di ricarica nettamente più bassi
→ circa 12-15 minuti .

Litio allo stato solido

Elettrolita compatto, di materiale ceramico o vetroso,

→ **ingombri ridotti,**

→ **capacità di accumulo superiore**

→ **Maggiore rapidità di ricarica**

→ **Campo temperatura di lavoro più elevato**

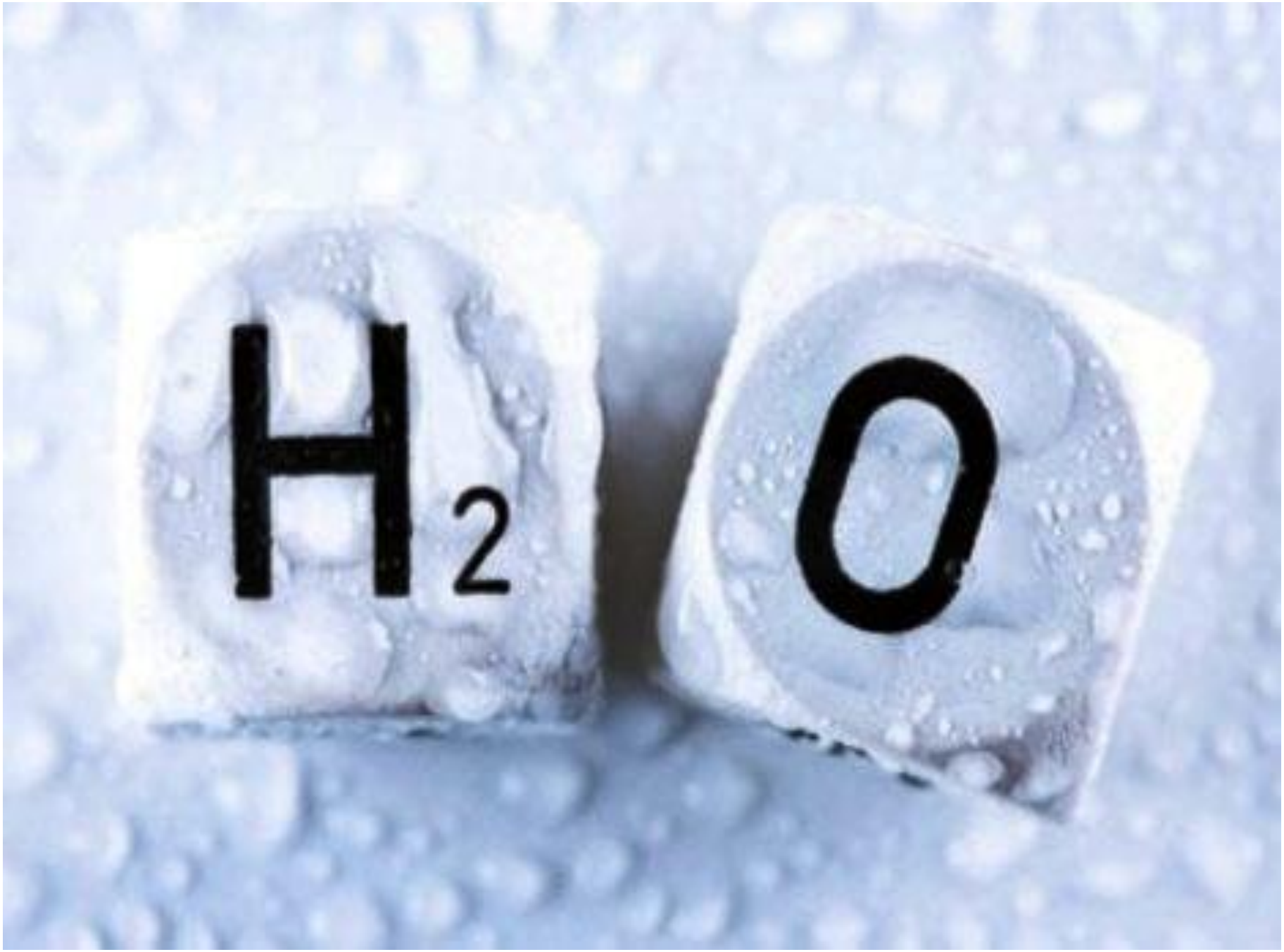
→ **Vita utile maggiore, numero cicli maggiore**

→ **Maggiore sicurezza di funzionamento**

→ **Evita la formazione dei dendriti,** filamenti metallici nell'elettrolita che possono nel tempo innescare un corto circuito di contatto tra elettrodi → pericolo di infiammare la batteria.

Importante RS presso Università del Texas → utilizzato un elettrolita di vetro per trasportare gli ioni di litio dall'anodo (la parte negativa della batteria) al catodo (la parte positiva).

NB → è possibile impiegare un anodo di metallo alcalino (Sodio) → riduzione costi.


H2O

Idrogeno vettore energetico

L'idrogeno è un combustibile a livello di inquinamento praticamente nullo , la sua combustione produce infatti acqua e ossidi di azoto in quantità trascurabile.
La pericolosità dell' idrogeno è paragonabile a quella del gas metano: l'idrogeno a contatto con l'aria può formare miscele esplosive in grado di scoppiare, a differenza del metano però, grazie alla maggiore leggerezza, si disperde prima diminuendo il rischio di concentrazione critica.

Le potenzialità energetiche dell'idrogeno sono praticamente illimitate nella scala delle esigenze di energia dell'umanità ; basti pensare che ogni litro di acqua contiene circa 110 grammi di H2 che bruciato genera un'energia termica di 3.200 Kilocalorie contro circa 7.900 Kilocalorie di un litro di benzina → quindi circa 2,5 litri di acqua hanno l'equivalente calorifico di 1 litro di benzina.

La strada maestra per produrre Idrogeno per via pulita ed ecosostenibile è quella dell'elettrolisi dell'acqua che richiede però grandi quantità di energia elettrica.
Il problema di base è quindi quello di produrre l'energia primaria per alimentare i processi elettrolitici .
La conclusione, oggetto di studio e applicazioni da tempo , è quella di utilizzare le fonti rinnovabili per eccellenza

Eolica - Fotovoltaica - Idraulica.

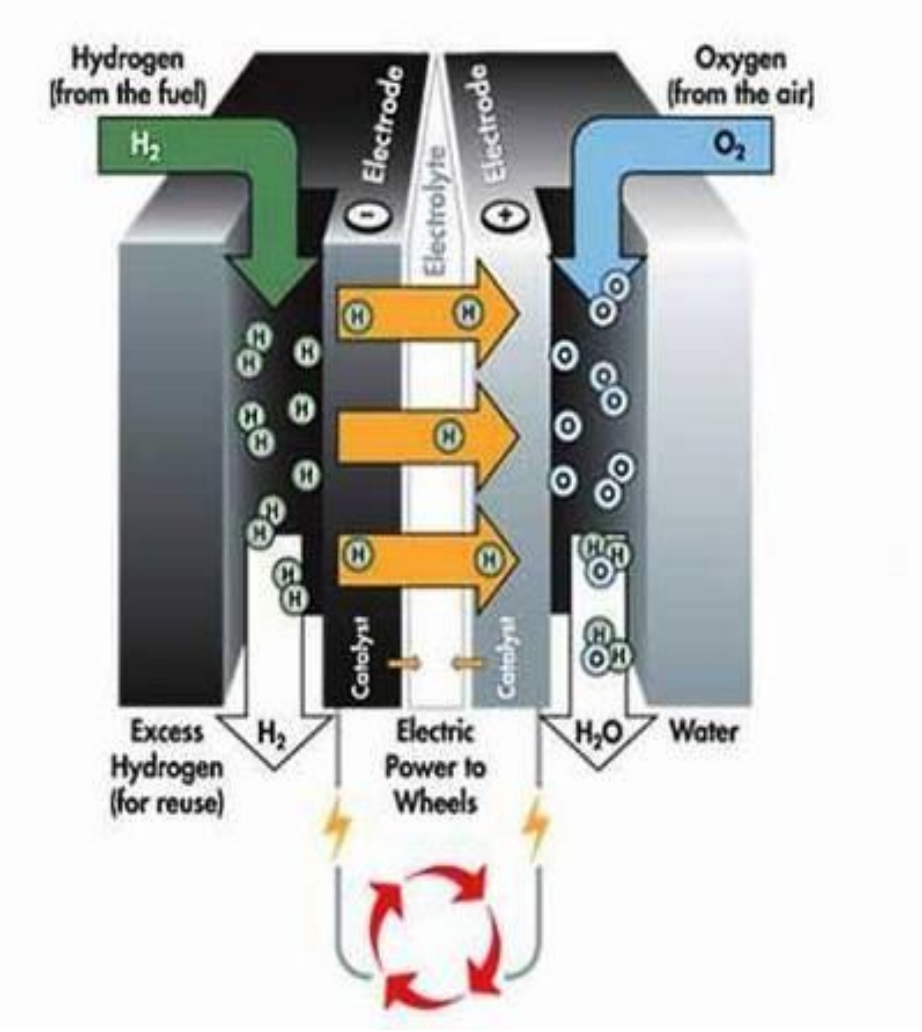
Benvenuto Idrogeno

L'Italia entra nell'era delle auto a Idrogeno col decreto legge 23 ottobre 2018, (G.U. N 257 del 5-11-189)

→ Normativa relativa agli impianti di distribuzione di idrogeno per autotrazione.

→ La pressione degli impianti di erogazione, potrà essere poraytata a valori > = di **700 bar**.

→ **700 bar che è la soglia tecnica di ricarica di H2 entro 3 minuti , richiesta dalle auto attualmente disponibili sul mercato, anche se non in Italia per ora.**

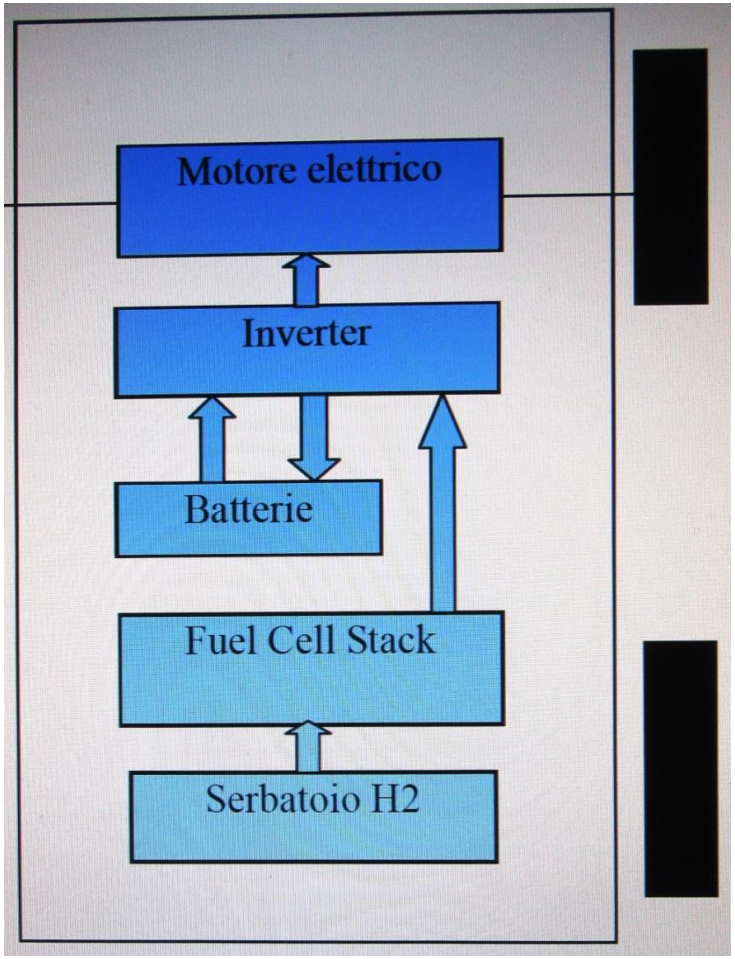


Schema tipo Fuel Cell (FCEV)

Il combustibile H2 per auto è immagazzinabile in forma:
Gassosa → circa 700 atm (ma tecnicamente le attuali auto FECV possono essere caricate con H2 anche a 1000 atm).

Le celle sono normalmente del tipo PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell).

Il pacco batterie (in genere circa 2 kWh) è previsto sia per il recupero di energia dell'auto in fase di frenata e/o discesa (il m.e. diventa un generatore) sia per supportare la Fuel Cell come tampone di regoplazione flusso energetico.



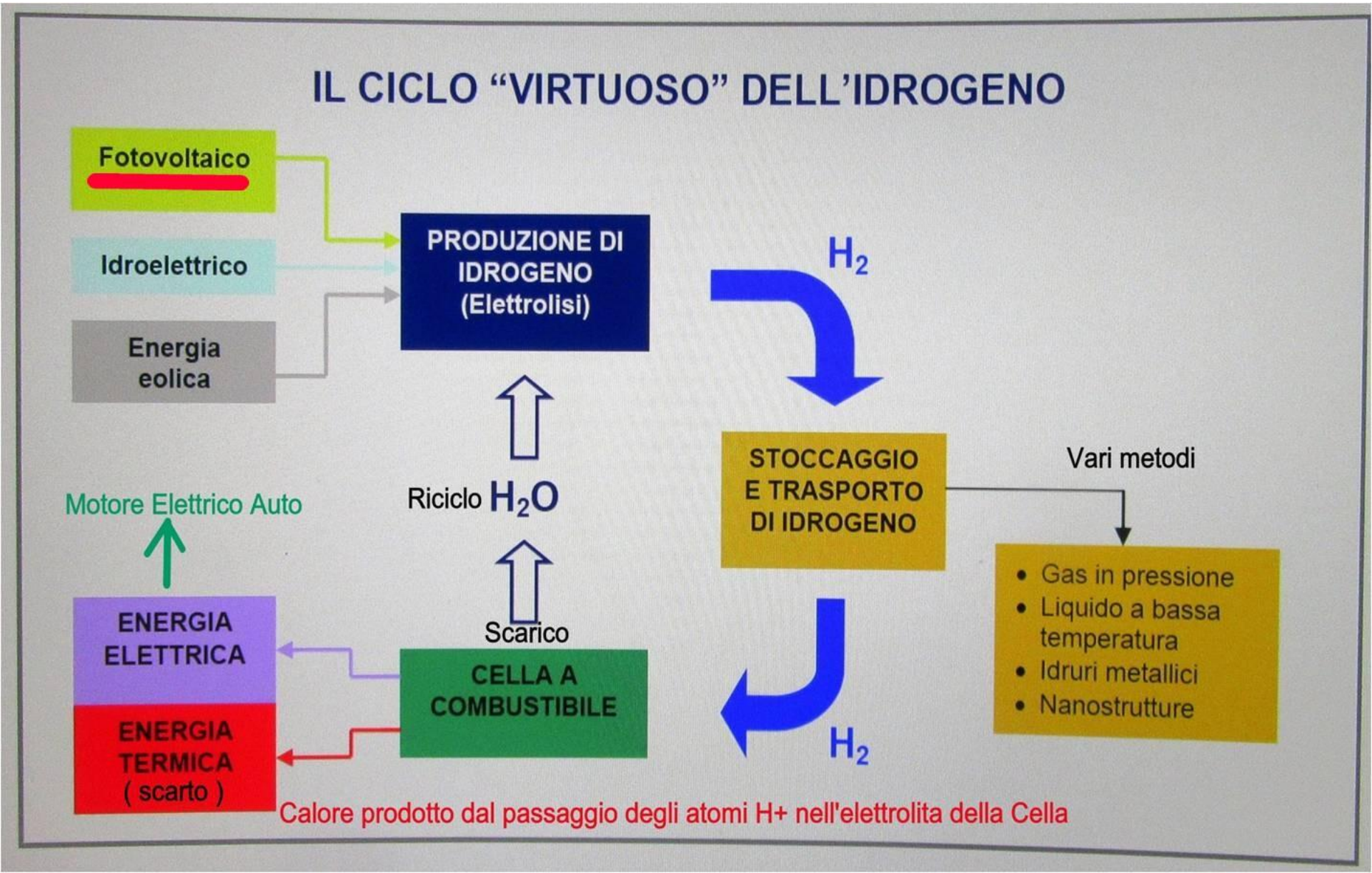
Vantaggi :

- **Zero emissioni nocive al tubo di scarico solo H2O.**
- **Bassi tempi di ricarica del serbatoio (< 5 minuti).**
- **Autonomie circa come le auto a combustione (600-700 Km)**

Svantaggi attuali:

- **Alto costo delle celle e degli elettrodi**
- **Alto costo H2 (attualmente circa ca 13-15 €/Kg).**
- **Infrastrutture e catene di alimentazione H2 sul territorio praticamente inesistenti**

Il ciclo virtuoso dell'idrogeno nelle Fuel Cell per l'auto



waitingman@libero.it

Grazie per l'attenzione