

M O B I L I T À I B R I D A
E L E T T R I C A
E

C A R B U R A N T I A L T E R N A T I V I



L'evoluzione dei veicoli ibridi ed elettrici

Riduzione dei consumi e riduzione delle emissioni

Il crescere del costo dei carburanti tradizionali e la maggiore restrizione sull'emissione delle sostanze inquinanti costringe i costruttori di autovetture e veicoli leggeri ad un sempre maggiore sviluppo dei propulsori ibridi e dei veicoli elettrici. Dopo decenni di studi e sviluppi nelle direzioni più disparate, dai propulsori a idrogeno, alle celle a combustibile a idrogeno, ai propulsori con alimentazione mista metano-idrogeno, oppure benzina-alcool si è giunti a conclusione che il miglior compromesso tecnico e produttivo su larga scala sono i propulsori ibridi, un motore a combustione interna accoppiato ad un motore elettrico. Se fino al 2005 i maggiori costruttori europei snobbavano i primi veicoli ibridi proposti dai colossi del sol levante contrapponendo motori diesel con filtri antiparticolato ed iniezioni di UREA, oggi gli stessi si sono affrettati a copiare o a stringere alleanze con i colossi giapponesi e coreani per lo sviluppo delle future auto ibride ed elettriche.

La classificazione dei veicoli ibridi ed elettrici

i veicoli vengono suddivisi nelle seguenti categorie :



- **BEV** (Nissan Leaf, Tesla, Mitsubishi iMiev, Renault Fluence, Ford Focus) veicoli puramente elettrici la cui energia è fornita da accumulatori a batteria, essi vengono ricaricati tramite spina domestica e parzialmente attraverso il sistema di recupero di energia in frenata.
- **HEV** veicoli ibridi composti da un sistema di propulsione con motore a combustione interna (ICE) ed un motore elettrico con accumulatori a batteria.

Tra i veicoli HEV ci sono due sottogruppi

Mild hybrid (Honda CRZ, Honda Insight, Mercedes S400 hybrid, BMW 7, Cayenne hybrid, VW Touareg hybrid...)

Le auto mild-hybrid sono dei veicoli con motore a combustione interna affiancato da un motore/generatore elettrico che non è in grado di permettere la sola propulsione elettrica del mezzo, ma svolge due differenti funzioni: (1) la batteria viene parzialmente ricaricata,



quando il motore funge da generatore come la dinamo di una bicicletta, recuperando una parte dell'energia che verrebbe dispersa in fase di frenata; (2) lo stesso motore elettrico può fornire un certo grado di supporto al motore tradizionale nella fase di ripartenza del veicolo, nelle fasi di accelerazione o nelle fasi in cui il veicolo viaggia a velocità costante inferiore a 60Km/h

(come accade per la Honda Insight). I veicoli mild-hybrid dispongono di un motore/generatore elettrico di piccola potenza (20 kW, valore indicativo), di conseguenza, necessitano anche di batterie meno potenti. Il vantaggio è rappresentato da un costo contenuto di questa tecnologia e da un peso delle batterie non eccessivo.

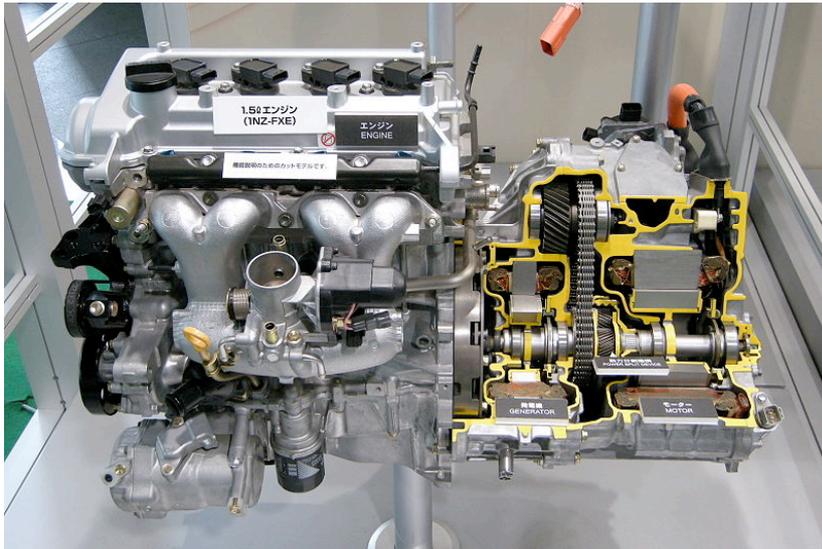
Per Honda Insight il motore/generatore elettrico è inserito nel blocco motore in sostituzione del volano (progetto brevettato). Le mild hybrid mantengono il gruppo meccanico del cambio. In questa tipologia di ibride il motore elettrico è posizionato nella scatola del cambio (BMW, VW) oppure come avviene per Volvo, Citroen e Peugeot il motore elettrico è collegato all'asse posteriore.



Full hybrid (Prius, Auris, Yaris, Lexus CT200h, RX450h, GS450h, LS600h.....) Le cosiddette full-hybrid sono le auto ibrido-elettriche di tipo tradizionale, cioè che utilizzano due diversi tipi di motori per muovere un veicolo: un motore a combustione interna collegato ad un generatore elettrico e un motore elettrico di trazione. Quando l'auto viaggia a basse velocità (ad es. fino a 40-60 km/h, come succede in città) oppure è ferma a un semaforo, usa il motore elettrico, mentre quando occorre una potenza maggiore oppure finisce l'autonomia dell'accumulatore, viaggia sfruttando la sinergia tra motore tradizionale e motore elettrico. Come nelle auto mild-hybrid, anche in queste full-hybrid la carica elettrica delle batterie avviene trasformando in elettricità l'energia cinetica del veicolo durante la sua fase di frenata, energia che altrimenti andrebbe sprecata. Pertanto, questi veicoli hanno un'autonomia ben superiore rispetto sia ai veicoli tradizionali con motore a combustione interna, in quanto riescono a utilizzare il carburante in maniera più efficiente (con un risparmio sullo stesso che può arrivare



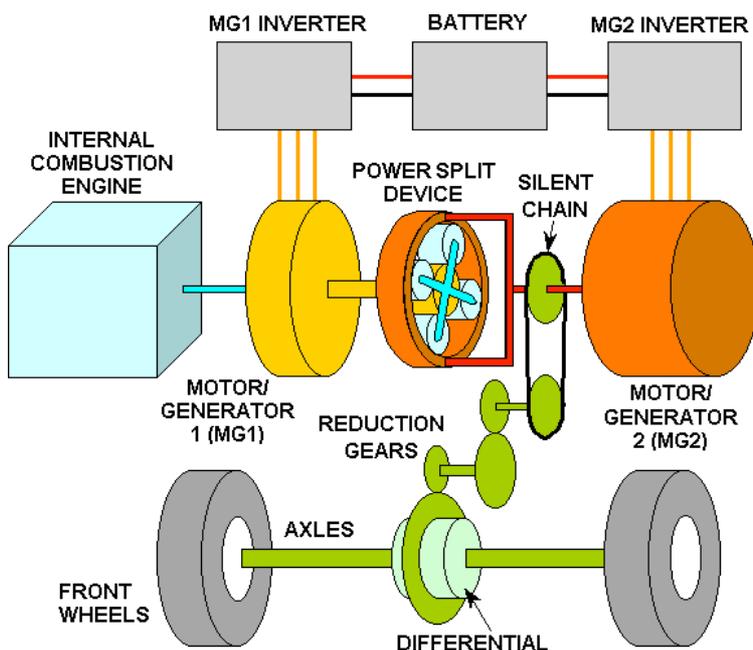
zare il carburante in maniera più efficiente (con un risparmio sullo stesso che può arrivare



fino al 30%). Per Toyota Prius, Auris, Yaris e Lexus CT200h il gruppo motore elettrico di trazione + generatore è collocato al posto della scatola del cambio e della frizione che ovviamente non servono più (sistema brevettato HSD).

Le connessioni meccaniche del sistema tra motore a combustione ICE, Generatore elettrico MG1, motore di trazione MG2 e ruote consentono di convertire

l'energia meccanica dal motore tra le tre forme: coppia supplementare alle ruote (a velocità di rotazione costante), velocità di rotazione supplementare alle ruote (in coppia costante), e di energia elettrica. Questo realizza i vantaggi di una trasmissione variabile continua, tranne che la conversione di coppia / velocità utilizza energia elettrica piuttosto che un diretto collegamento meccanico. Il sistema HSD gestisce lo smistamento di energia elettrica tra i due gruppi elettrogeni a motore e il pacco batteria per uniformare il carico sul motore a benzina. Dal momento che un aumento di potenza è disponibile per periodi di accelerazione, il motore a benzina può essere dimensionato in modo da corrispondere solo al carico medio della macchina, piuttosto che al suo carico di punta: questo consente di risparmiare carburante, perché i motori più piccoli sono più efficienti. Inoltre, durante il normale funzionamento del motore a benzina esso può essere azionato alla velocità ideale, per ottenere il giusto livello di coppia e di potenza, al miglior rendimento energetico, l'eccesso di potenza generata da ICE viene immagazzinata nelle batterie. In fase di frenata il motore MG2 funziona da freno elettromagnetico, l'inverter MG2 assorbe corrente da MG2 per ricaricare le batterie ottenendo così l'azione della frenata del veicolo.



Matteo Bernardi per HSF

- **PHEV** veicoli ibridi plug-in, composti da un sistema di propulsione con motore a combustione interna (ICE) ed un motore elettrico con accumulatori a batteria, gli accu-



mulatori dispongono della funzione di ricarica tramite spina domestica ed il veicolo può muoversi anche esclusivamente con la sola propulsione elettrica.

(Prius Plug-in, Chevrolet Volt, Opel Ampera, Fisker Karma, Volvo V60) Le auto ibride plug -in (indicate anche come EREV, auto elettriche a range esteso) sono auto ibride con motore a combustione interna e con motore elettrico che possono essere ricaricate collegandole alla rete elettrica domestica o presso apposite colonnine di ricarica, eventualmente lungo il tragitto da percorrere. In-

fatti, i tragitti percorribili dalle auto full-hybrid con la sola trazione elettrica sono soltanto di pochi chilometri, a causa della limitata carica della batteria fornita dall'effetto frenante, cioè dall'energia che viene recuperata. Le auto ibride plug-in, che sono dotate di batterie assai più potenti rispetto a quelle usate sulle auto full-hybrid normali - consentono un risparmio potenzialmente assai elevato. Le auto plug-in rappresentano l'ultima importante novità nel campo delle auto ibride-elettriche.

- **FCEV** veicoli puramente elettrici la cui energia è fornita da celle a combustibile. Sul mercato europeo questi veicoli non sono disponibili a listino.

Gli accumulatori, limiti di oggi e l'evoluzione dei prossimi anni

Se dai primi del novecento ad oggi il focus dei progettisti è stato quello di migliorare e innovare i propulsori a combustione interna per ottenere maggiori potenze e una migliore efficienza nella combustione, oggi e per i prossimi decenni il focus dei progettisti sarà l'evoluzione, l'innovazione e la sicurezza di nuovi accumulatori di energia elettrica. In una tradizionale autovettura l'accumulatore di energia è il serbatoio del carburante. Un serbatoio con un volume di 50 litri permette ad un veicolo tradizionale di percorrere tra i 700 e i 1000Km, ed il rifornimento di energia lo si effettua in pochi minuti. I carburanti tradizionali contenuti nei serbatoi permettono in un volume abbastanza ridotto di concentrare una elevata densità di energia, se si considera poi che l'altra componente importante che partecipa a fornire energia per la trazione del veicolo (combustione) è l'ossigeno prelevato dall'aria circostante e immesso nelle camere di scoppio. Per gli accumulatori a batteria tradizionali invece tutta l'energia necessaria deve essere contenuta all'interno dell'accumulatore stesso, per questo motivo oggi la densità di energia che gli accumulatori possono offrire è decisamente inferiore rispetto ad un serbatoio di carburante. L'evoluzione della tecnica nell'ultimo decennio ha permesso di incrementare la quantità di energia degli accumulatori. Se nel 1996 le prime auto ibride potevano contare sugli accumulatori NiMH (idruri metallici di nichel) oggi gli stessi veicoli vengono equipaggiati con accumulatori ai polimeri di litio (Li-pol) oppure agli ioni di litio (Li-ion), ai fosfati ferrosi di litio (LiFePO), o quelle ai sali fusi di cloruro di sodio e nichel (Ni-NaCl).

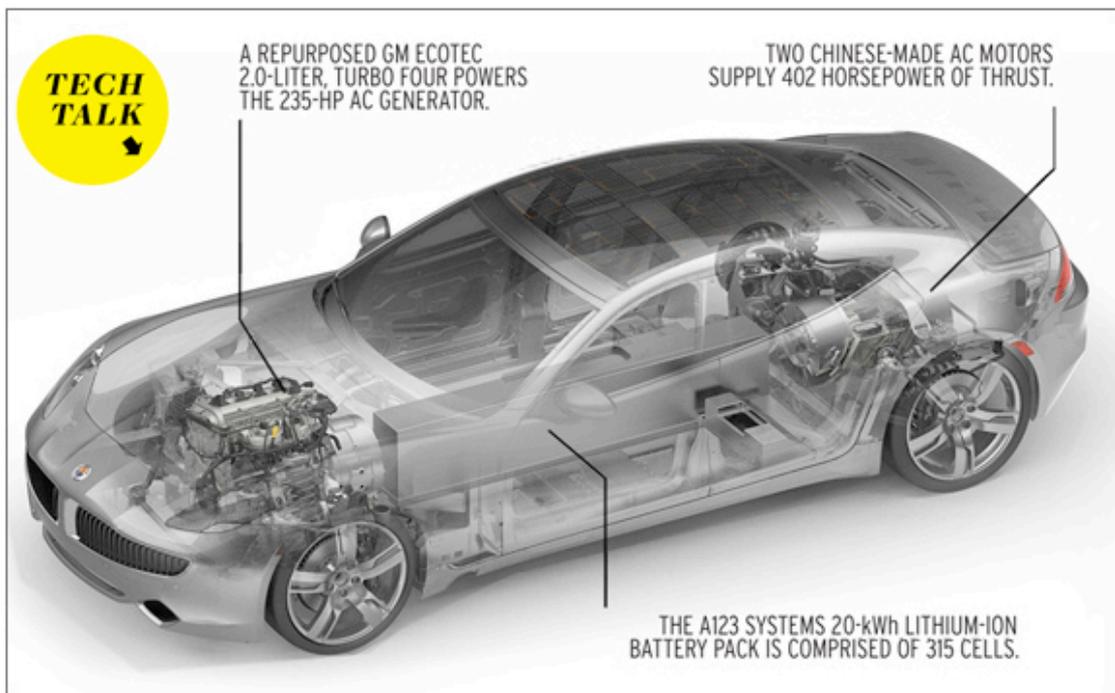


Sulle vetture BEV si adottano accumulatori di tipo Li-pol, (Panasonic per la Tesla) e Ni-NaCl (batterie ZEBRA per veicoli leggeri da lavoro, quali furgoni e bus)



Sulle vetture HEV si utilizzano maggiormente le più economiche NiMH, e limitatamente quando lo spazio a bordo veicolo è limitato si utilizzano le più efficienti ma più costose Li-ion oppure Li-pol.

Sulle vetture PHEV si utilizzano gli accumulatori con tecnologia al litio, Li-pol, Li-ion e Li-FePO.



Gli accumulatori si possono pertanto definire come dispositivi generatori elettrochimici all'interno dei quali le cariche elettriche (ioni) sono confinate in una determinata regione (polo 1), esse si trasferiscono alla regione opposta (polo 2), generando una corrente elettrica passando attraverso un circuito elettrico esterno (inverter e motore elettrico). Questi accumulatori sono ovviamente ricaricabili applicando una adeguata tensione ai poli.

- Tensione (V): valore nominale di un elemento moltiplicato per il numero degli elementi della batteria.

- Capacità (Ah): quantità di elettricità scaricabile con modalità specificate (es. una batteria con capacità di 2 Ah è in grado di fornire continuamente una corrente di 2 A per 1 ora, oppure una corrente di 1 A per 2 ore, o ancora una corrente di 0,5 A per 4 ore, ecc.); in certe batterie viene consigliato di utilizzare solamente una certa percentuale della capacità (per es. l'80%).
- Contenuto di energia (kWh): quantità di energia immagazzinabile dalla batteria; dipende dalla corrente di scarica.
- Energia specifica riferita al volume (Wh/m³) o riferita al peso (Wh/kg): è la quantità di energia espressa in wattora fornibile dalla batteria, messa in relazione o allo spazio occupato dalla stessa od al suo peso. E' chiaramente un fattore estremamente importante nei casi in cui (praticamente tutti) si voglia ottenere un alto livello energetico in poco spazio e contenendo il peso.
- Resistenza interna (mΩ): esprime la resistenza delle parti interne della batteria; varia in funzione dello stato di carica (SOC) e della temperatura ed inoltre può influire sulla variazione di tensione durante la scarica e sulla densità di potenza.
- La densità di energia si può esprimere in termini di volume come il rapporto tra l'energia accumulata in un sistema ed il suo volume:

$$\rho = \frac{\text{Energia}}{\text{Volume}} \text{ [kWh/m}^3\text{]}$$

- La densità di energia in termini di massa (nota anche con il nome di energia specifica) è invece il rapporto tra l'energia accumulata in un sistema e la sua massa:

$$\rho = \frac{\text{Energia}}{\text{Massa}} \text{ [kWh/kg]}$$

Quando si vogliono confrontare due sistemi, per esempio una batteria al piombo con una batteria agli ioni di litio, i due concetti sopra esposti tornano utili: per esempio, la densità di energia in termini di massa di una batteria agli ioni di litio è di circa 0.12 kWh/kg mentre quella di una batteria al piombo è circa 0.03 kWh/kg, circa un quarto. Ciò significa che a parità di peso, le batterie agli ioni di litio immagazzinano quattro volte l'energia accumulata da una batteria al piombo.

- Efficienza energetica: è il rapporto tra l'energia scaricata e l'energia necessaria per riportare la batteria al suo stato iniziale di carica.
- Efficienza di capacità (efficienza-Ah): è il rapporto tra la scarica (espressa in Ah) e la carica necessaria per riportare la batteria al suo stato iniziale di carica. Il valore percentuale dell'efficienza energetica è più basso rispetto a quello dell'efficienza-Ah, dal momento che la tensione durante la scarica è minore rispetto alla tensione durante la carica. Queste quantità sono fondamentalmente diverse e non andrebbero mai confrontate tra loro.

- Fattore di carica (%): è l'inverso dell'efficienza-Ah e dà un'indicazione della carica extra che viene iniettata nella batteria durante la fase finale di carica.
- Ciclo di vita (numero di cicli): un ciclo è una carica seguita da una scarica della batteria; il ciclo di vita si considera terminato quando la capacità della batteria scende al di sotto di un valore prestabilito (per es. 80% della capacità nominale).
- Caratteristiche di ricaricabilità: innanzitutto se la batteria è ricaricabile o meno (nel caso del veicolo elettrico lo è), poi i tempi dell'eventuale ricarica e la presenza o meno dell'effetto memoria, cioè dei problemi che sorgono a causa di ricariche troppo frequenti a bassa intensità di corrente oppure se ci si dimentica di scaricare per troppo tempo le batterie completamente cariche. In questi casi la durata della batteria si può ridurre addirittura del 90% perché aumenta la resistenza interna e quindi la tensione scende rapidamente quando la batteria è sotto carica.
- Durata: si esplica nel numero di cariche e scariche che la batteria è in grado di fornire, senza che il suo livello di tensione scenda al di sotto di un valore non più in grado di alimentare il carico prestabilito (valore di riferimento).

Batteria NiMH

In una batteria NiMH la reazione che avviene all'anodo è la seguente:



→ CARICA
← SCARICA

Al catodo si forma idrossido di nichel.

Il "metallo" nell'anodo (M) di una batteria NiMH è normalmente un composto intermetallico. Molti diversi composti sono stati sviluppati a questo scopo, ma quelli attualmente in uso rientrano in due classi. Il più comune è AB₅, dove A è un miscela di elementi del gruppo terre rare come lantanio, cerio, neodimio, praseodimio e B è nichel, cobalto, manganese e/ o alluminio. Solo poche batterie usano elettrodi basati su composti AB₂, dove A è titanio e/ o vanadio e B è zirconio o nichel, modificato con cromo, cobalto, ferro e/o manganese, a causa della vita ridotta per questo tipo di soluzione.

Ognuno di questi composti serve a creare, in modo reversibile, una miscela di idruri metallici. La particella ionica nota come idruro è l'anione dell'idrogeno, H⁻, in inglese hydride.

Un anione è un atomo o una molecola che ha acquistato una carica elettrica negativa (elettrone), diventando quindi uno ione negativo. Gli idruri sono dunque composti ionici in cui l'idrogeno ha come numero di ossidazione, ossia si riduce acquistando un elettrone.

Quando lo ione idrogeno è rimosso dall'elettrolita, dal voltaggio applicato durante la carica, si formano gli idruri che evitano la formazioni di idrogeno gassoso e che consentono di mantenere inalterati volume e pressione.

Quando la batteria si scarica gli stessi ioni vengono rilasciati partecipando alla reazione inversa.

Le batterie NiMH hanno un elettrolita alcalino, di solito idrossido di potassio.

Queste batterie hanno alcune caratteristiche che le rendono adatte per usi nei veicoli a propulsione elettrica. Innanzitutto il fatto che esse siano prive di cadmio, le rende sicura-

mente più accettabili dal punto di vista ambientale. Da un punto di vista tecnico invece, la loro energia specifica è leggermente maggiore rispetto alle batterie al Ni-Cd e sono inoltre adatte a ricaricarsi in tempi brevi. Tuttavia uno svantaggio è la loro tendenza all'autoscari- ca, dovuta alla diffusione dell'idrogeno attraverso l'elettrolita. Inoltre, l'alta corrente neces- saria durante la carica (che è una reazione esotermica, cioè con sviluppo di calore), rende necessaria ed essenziale una gestione termica e di raffreddamento. A causa di questo fat- to, tali batterie sono state, e sono, soggetto di ricerca e notevoli attività di sviluppo al fine di migliorare la loro adattabilità ai veicoli elettrici puri.

D'altra parte invece, le batterie NiMH sono utilizzate nei veicoli a propulsione ibrida (dop- pio motore, elettrico e a combustione interna) grazie alla loro eccellente potenza specifica resa disponibile. Ne sono un esempio la Toyota Prius, Auris, Yaris, automobili ibride dotate di questo tipo di accumulatore elettrico. La batteria per veicolo ibrido ottimizza la capacità di fornire potenza istantanea.

Batteria Li-ion

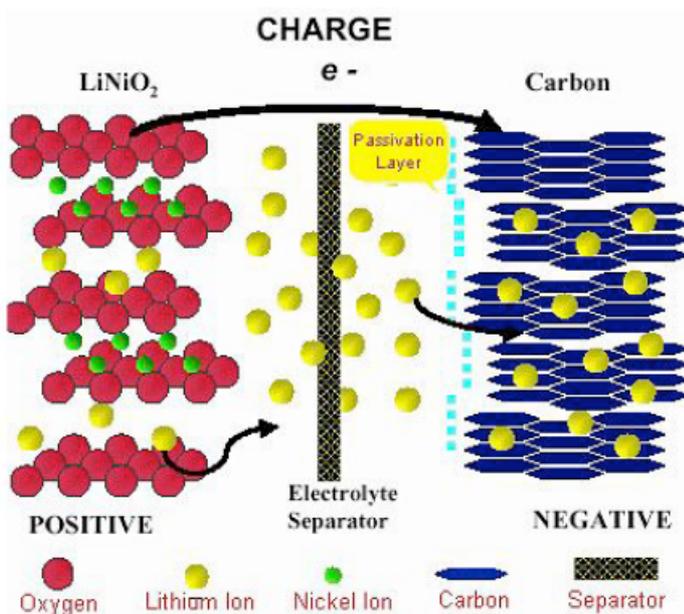
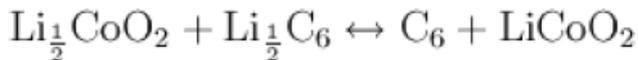
Il tipo più comune di batteria al litio è quello cosiddetto "litio - ioni".

I tre partecipanti alle reazioni elettrochimiche in una batteria agli ioni di litio sono l'anodo, il catodo e l' elettrolita. Sia l'anodo che il catodo sono materiali in cui e da cui il litio può mi- grare.

Il principio base di funzionamento si basa su un trasferimento di ioni di litio (Li+) da un elettrodo all'altro. Durante la ricarica, sottoponendo l'accumulatore ad una tensione elettri- ca, il litio si trasferisce, sotto forma ionica, sull'elettrodo negativo, passando dunque dal catodo (+) all'anodo (-).

Il processo avviene, ovviamente, in modo opposto durante l'utilizzazione della batteria, e quindi nella fase di scarica, dove gli ioni di litio passano dall'anodo al catodo.

Una reazione chimica tipica della batteria al Li - Ion è la seguente:



L'anodo è fatto con carbonio, il catodo è un ossido metallico, e l'elettrolita, in generale, è un sale di litio in solvente organico. Poiché il metallo di litio, che potrebbe essere prodotto in condizioni irregolari di ricarica, è molto reattivo e può causare esplosioni, le batterie agli ioni di litio solitamente hanno incorporati circuiti elettronici protettivi e/o fusibili per evitare l'inversione di polarità, sovraccarichi di tensione e surriscaldamento (circuiti elettronici di protezione).

Per un ottimo voltaggio è necessario un anodo ad alta attività di Li (Li metallico, leghe, composti di intercalazione Li-C).

Un elemento particolarmente importante per attivare le batterie agli ioni di litio è l'interfase elettrolitica solida (SEI). Gli elettroliti liquidi nelle batterie agli ioni di litio consistono in elettroliti di sali di litio, come l'esafluorofosfato (LiPF₆), il tetrafluoborato (LiBF₄), il perclorato (LiClO₄) o il triflato di litio e solventi organici, come l'etere. Un elettrolito liquido conduce ioni di litio, il quale agisce come trasporto tra il catodo e l'anodo quando una batteria fa passare una corrente elettrica attraverso un circuito esterno.

Le batterie agli ioni di litio hanno una tensione di circuito aperto nominale di 3.6 V ed una tensione di ricarica tipica di 4.2 V. La procedura di ricarica è a tensione costante con limite di corrente.

Questi tipi di accumulatori sono stati proposti sia per i veicoli elettrici puri, grazie alla loro grande energia specifica, ben oltre i 200 Wh/kg, sia per i veicoli ibridi, facendo uso di celle appositamente progettate per ottenere altissima potenza specifica, fino anche a 2000 W/kg.

Batteria Li-pol

L' accumulatore litio – polimeri è uno sviluppo tecnologico della batteria litio-ioni. La principale caratteristica che li differenzia è data dal fatto che l'elettrolita in sale di litio non è contenuto in un solvente organico come nel diffusissimo disegno litio - ione, ma si trova in un composito di polimero solido, come ad esempio il poliacrilonitrile (spesso indicato con l'acronimo PAN, è il polimero ottenuto dalla polimerizzazione dell'acrilonitrile). Queste batterie sono completamente a secco e non contengono elettroliti liquidi. Vi sono alcuni ottimi vantaggi in questo tipo di costruzione rispetto alla classica configurazione litio - ioni, per esempio il fatto che il polimero solido non è infiammabile (a differenza del solvente organico che le celle a Li - Ion utilizzano); queste batterie sono perciò meno pericolose se vengono danneggiate.

La configurazione strutturale delle celle di questi accumulatori si differenzia da quelle degli accumulatori Li – Ion. Mentre le celle in litio-ione sono contenute in minuscoli contenitori rigidi in metallo cilindrici o prismatici (a nido d'ape), le attuali celle polimeriche hanno una struttura a fogli flessibili, spesso pieghevoli (laminato polimerico) e contengono ancora un solvente organico. La maggiore differenza tra le celle in polimero e le celle litio-ioni in commercio è che nelle seconde il contenitore rigido pressa reciprocamente gli elettrodi ed il separatore, mentre in quelle a polimero questa pressione esterna non è richiesta perché i "fogli" dell' elettrodo ed i "fogli" del separatore (dielettrico) sono laminati ciascuno sull'altro.

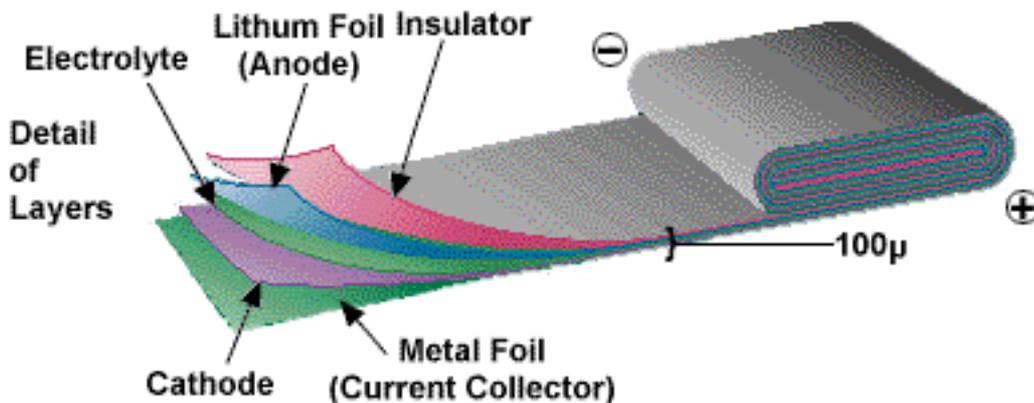
Una cella litio-polimeri è generalmente realizzata da cinque lamine differenti: un isolante, un anodo di litio, un elettrolita solido polimerico, un catodo di ossido metallico ed un assorbitore di corrente.

Il laminato viene avvolto per formare una cella mentre successivamente più celle vengono connesse in serie per fornire il voltaggio desiderato. Modificando spessore e lunghezza

dei materiali nella cella ed il numero e la sistemazione delle celle, si può realizzare una batteria adatta a molteplici esigenze.

Nell'immagine seguente si può vedere schematicamente la composizione di una cella di questo tipo con i vari strati sopra citati:

Electric Chemical Cell Flat Roll Design



Per quanto riguarda le tecnologie di questi accumulatori, attualmente in commercio se ne trovano due, entrambe sono agli Li-Ion-Poly (dove Poly sta per "Polimero elettrolita/separatore"); sono chiamate "Batterie ai polimeri elettrolitici".

L'idea è quella di usare un polimero permeabile agli ioni al posto della tradizionale combinazione di un separatore microporoso e un elettrolita liquido. Questo promette non solo una migliore sicurezza, dato che l'elettrolita polimerizzato non brucia facilmente, ma anche la possibilità di realizzare batterie molto sottili, dato che non richiederanno una pressione applicata al "sandwich" catodoanodo.

L'elettrolita polimerizzato assicurerà la tenuta di entrambi gli elettrodi come una colla.

Il design è il seguente:

- anodo: Li o carbonio-Li;
- separatore: elettrolita polimerico conduttore;
- catodo: LiCoO₂ o LiMn₂O₄.

Il polimero elettrolita/separatore può essere realmente un polimero solido più LiPF₆ o altri sali conduttivi più SiO₂ o altri riempitivi con caratteristiche meccaniche migliori. Alcuni stanno pensando di usare Litio metallico come anodo, mentre altri preferiscono usare il più sicuro anodo ad intercalazione di carbonio. Entrambe le tecnologie usano PVdF (polivinilidene fluoruro, un polimero) reso gel con solventi convenzionali e sali, come EC (carbonato di etile), DMC (dimetilcarbonato), DEC (carbonato di dietile), ecc. La differenza fra le due tecnologie è che una usa LiMn₂O₄ come catodo e l'altra, più convenzionale, LiCoO₂. La tensione delle celle Li-Pol varia generalmente da circa 2,7 V (scariche) a circa 4,23 V (a piena carica).

Batteria Ni-NaCl

Questo tipo di batteria è costituito da celle funzionanti a caldo, racchiuse in un contenitore termico.

La cella opera a circa 270 °C (e oltre anche) ed ha un voltaggio di 2.35 V. Per mantenere gli elettrodi nello stato fuso a 270 °C, il catodo (FeCl₂ o NiCl₂) è impregnato di NaAlCl₄ fuso (tali batterie sono talvolta dette batterie a sali fusi).

A cause delle elevate temperature di utilizzo è necessario un sistema di controllo di ogni singola cella.

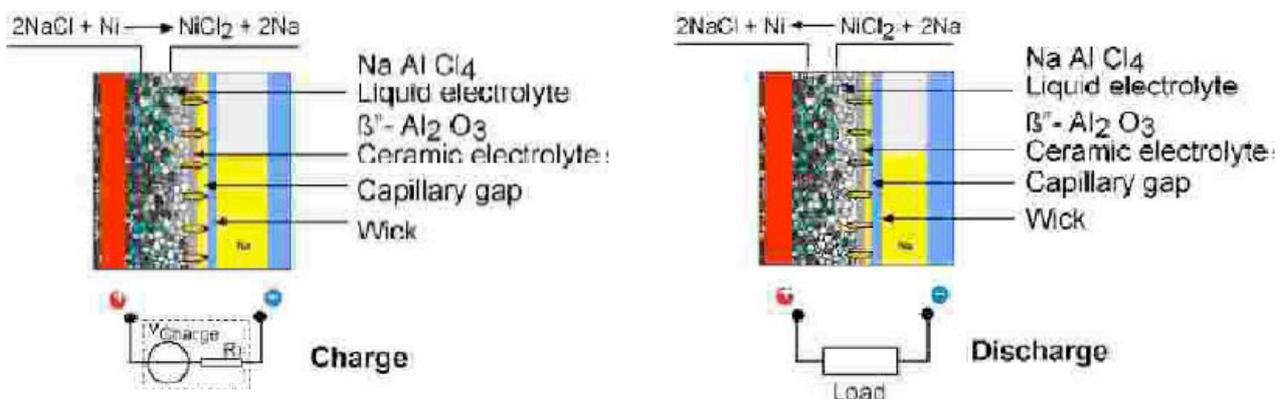
L'elettrolita è normalmente di tipo solido ed è costituito da un tubo di b-allumina.

Ogni batteria ZEBRA è composta da un insieme di singole celle collegate in serie o in parallelo; la tipica reazione chimica completa che avviene all'interno della cella è:



→ CARICA
← SCARICA

Durante la fase di carica il sale (NaCl) ed il nichel (Ni) si trasformano in cloruro di nichel (NiCl₂) e sodio (Na). La fase di scarica avviene ovviamente in direzione opposta. Non ci sono altre reazioni chimiche, ed in tal modo l'efficienza in termini di capacità (Ah) tende al 100%.



Ogni cella ha una copertura (guaina) stabile in acciaio, mentre gli elettrodi sono separati da una parete di ceramica che risulta essere conduttiva per gli ioni di sodio, ma un isolatore per gli elettroni. La reazione nelle celle può quindi avvenire solamente se al di fuori della cella può fluire una corrente di elettroni attraverso un carico pari alla corrente generata dal movimento degli ioni di sodio. Il catodo solido poroso di NiCl₂ viene impregnato con un sale agli ioni Na⁺ conduttivo (NaAlCl₄) che fornisce la conducibilità tra la parete interna del separatore e la zona di reazione. Un sigillo in metallo-ceramica chiude ermeticamente la cella. Non serve manutenzione durante il ciclo di vita.

Qualsiasi numero geometricamente (in termini di spazio e volume) ragionevole di celle ZEBRA può essere collegato in serie e in parallelo per poter generare la tensione e la capacità desiderate.

Esse sono montate verticalmente nell'alloggiamento della batteria con o senza raffreddamento ad aria.

L'alloggiamento della batteria ha un doppio isolamento in vuoto e segue il principio di un

contenitore termico con un efficiente isolamento dovuto a SiO_2 (ossido di silicio) espanso; esso fornisce una bassa conducibilità termica di soli $0,006 \text{ W/mK}$ ed è stabile anche per condizioni critiche di sicurezza fino ai $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Quando la batteria è funzionante, le perdite dovute alle resistenze interne mantengono la temperatura di esercizio attorno ai $270 \text{ }^\circ\text{C}$; quando invece la batteria rimane inattiva per un tempo prolungato (oltre 24 ore) è necessario un ulteriore riscaldamento (tipicamente utilizzando una potenza di circa 100 W per batteria) per mantenere calda la batteria. Questa necessità rende la batteria ZEBRA adatta per essere montata su veicoli che vengano utilizzati quotidianamente, come ad esempio mezzi pubblici e mezzi commerciali.

Le alte temperature interne che vanno dai 270 ai $350 \text{ }^\circ\text{C}$ provocano sicuramente delle perdite termiche, ma offrono più importanti vantaggi come:

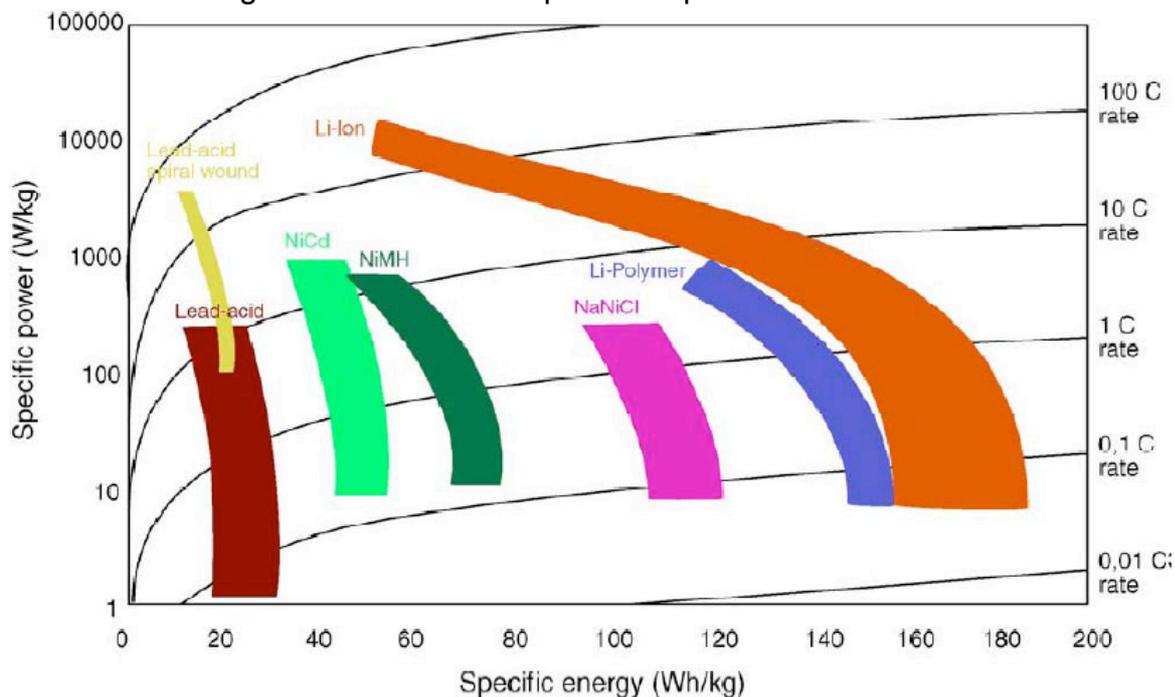
- durata di vita e prestazioni pressoché indipendenti dalla temperatura dell'ambiente;
- raffreddamento semplice ed efficace.

Queste batterie sono state implementate con successo in diversi veicoli elettrici, fornendo interessanti opportunità e ottime prestazioni. Le ZEBRA sono degli ottimi accumulatori per quanto riguarda l'energia specifica e si prestano quindi bene ad essere utilizzati su veicoli a propulsione elettrica pura, mentre a causa della loro potenza specifica più modesta sono meno adatte per applicazioni su veicoli a propulsione ibrida.

Confronto tra le attuali batterie

Al fine di confrontare i diversi tipi di batteria a livello delle loro prestazioni è possibile utilizzare il cosiddetto diagramma di Ragone (Ragone chart), che rappresenta l'energia specifica in funzione della potenza specifica (quest'ultima solitamente rappresentata su scala logaritmica), dove si può facilmente fare un confronto tra le batterie adatte sia ad essere utilizzate su BEV (che necessitano soprattutto di energia specifica) sia ad essere utilizzate su HEV (che necessitano soprattutto di potenza specifica).

L'utilizzo della scala logaritmica in ordinata per la potenza specifica permette di confrontare sullo stesso diagramma batteria con potenze specifiche notevolmente differenti.

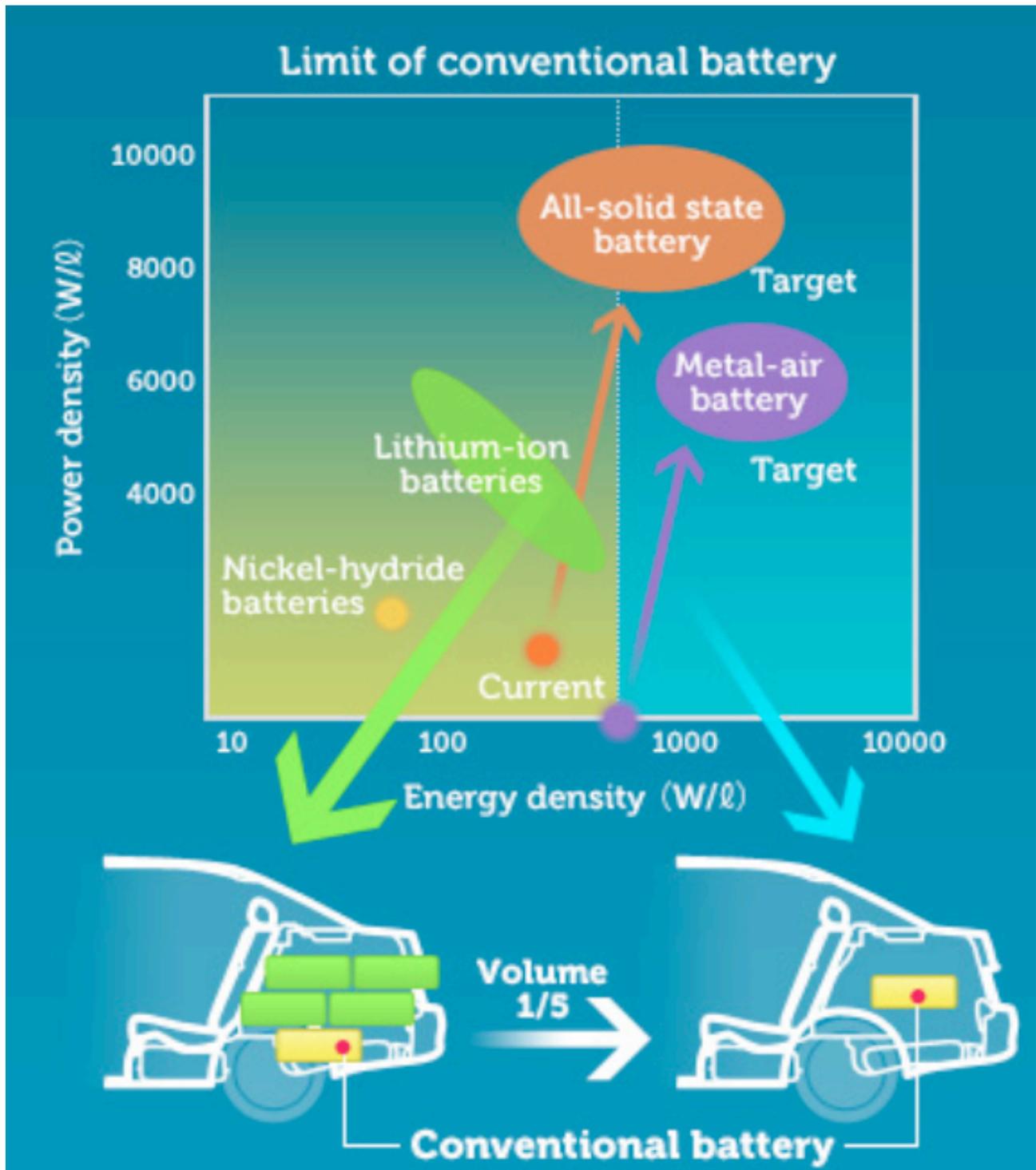


Matteo Bernardi per HSF

dalle analisi sin qui esposte si può affermare che per il prossimo ventennio lo sviluppo e produzione di vetture ibride HEV e PHEV si porrà al centro della produzione automobilistica mondiale, ma sarà necessario produrre accumulatori sempre più efficienti con maggiori densità di carica e a costi più contenuti.

Toyota infatti ha affermato che le attuali batterie NiMH e Li-ion sono soltanto un prodotto di transizione verso batterie di nuova generazione per veicoli PHEV e BEV.

As Toyota anticipates the widespread use of electric vehicles in the future, we have begun research in developing next-generation secondary batteries with performance that greatly exceeds that of lithium-ion batteries.



Lo sviluppo di nuove Batterie metallo - aria

nuovi progetti puntano a sviluppare accumulatori metallo-aria, un modello di accumulatore di energia simile ad un serbatoio di carburante tradizionale nel quale una parte di energia è il combustibile liquido mentre l'altra parte è costituita dall'ossigeno presente nell'aria. Anche qui una parte di energia è accumulata nel contenitore e l'altra controparte è identificata nell'ossigeno presente nell'aria.

Nascono così due tipologie di batterie :

- Litio-aria
- Zinco-aria

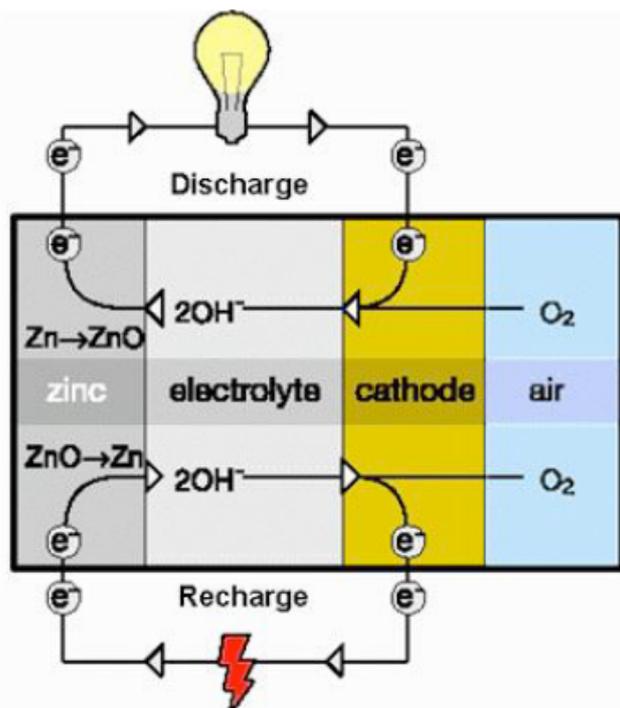
Anche se la batteria zinco-aria è caratterizzata da una densità di carica inferiore rispetto alle litio-aria, lo zinco ha il vantaggio di essere molto economico ed ampiamente distribuito sulla terra in grandi quantità a differenza del litio che è concentrato in poche aree del pianeta, ha un costo decisamente elevato ed è limitato in quantità rispetto allo zinco.

Batteria Zinco-aria

La batteria ricaricabile, più propriamente definibile pila zinco-aria, ma più nota come accumulatore zinco-aria, ha come caratteristica peculiare quella di impiegare l'ossigeno atmosferico come elettrodo che riceve elettroni (fase di riduzione) e lo zinco come elettrodo che perde elettroni (fase di ossidazione). Il movimento di elettroni genera quindi una tensione elettrica che può servire per alimentare vari tipi di circuito elettrico.

All'anodo si hanno metalli comunemente disponibili, con alta densità energetica come alluminio o zinco che liberano gli elettroni una volta ossidati. I catodi o gli elettrodi sono fatti spesso di una struttura porosa del carbonio o di una maglia di metallo ricoperta di catalizzatori adeguati.

L'elettrolita può essere nella forma liquida o una membrana polimerica solida saturata con KOH (idrossido di potassio).



Matteo Bernardi per HSF

Gli accumulatori zinco-aria appartengono alla categoria delle celle a combustibile, dove lo zinco è il combustibile e l'ossigeno è il comburente.

La caratteristica principale è quella del non incendiarsi in nessuna condizione. La velocità di combustione dello zinco dipende principalmente dalla pressione atmosferica, dalla percentuale di ossigeno atmosferico (19 % costante), dalla temperatura, dall'umidità e dal tasso di ossidazione della batteria; inoltre non vengono liberati acidi ustionanti se la batteria venisse incautamente aperta o danneggiata in uno scontro.

Gli accumulatori zinco aria sono stati sperimentati soprattutto nel campo dei veicoli elettrici. Il loro principale vantaggio è la grande energia specifica che sono in grado di accumulare, energia che può superare i 200 Wh/kg, valore che supera quello dei convenzionali tipi di batteria. Tuttavia la potenza specifica, attorno ai 100 W/kg, è un valore abbastanza modesto.

Il loro principale svantaggio è invece associato all'onere di dover provvedere alla sostituzione fisica degli elettrodi per la ricarica della batteria, anche se ultimamente si stanno realizzando prototipi di batterie la cui ricarica avviene tramite riempimento con soluzioni elettrolite.

	Toyota Camry	EV with Li-ion (Nissan Leaf)*	EV with Eos Aurora Zinc-Air Battery	EV with Eos Vista Zinc-Air Flow Battery
Capital Cost of Car	\$25,000	\$33,000	\$25,000	\$25,000
Propulsion System	Internal Combustion Engine	24 kwh Li-ion battery 80 kw motor	17kw (100kwh) Eos Zinc-Air battery, Eos lead acid battery	Eos Zinc-Air Flow battery, Eos lead acid battery
Range (miles)	400	75-100	340	400
Refueling Time	3 mins	5-7 hrs with 220-240V charger	6 hours	3 mins
Cost of fuel/mile at \$4/gal gas	.20	.03	.02	.02
Hp (peak)	179	107	175	175

Batteria Litio-aria

Su questa tipologia di batterie c'è una frenetica attività di ricerca da parte di università, laboratori governativi e privati.

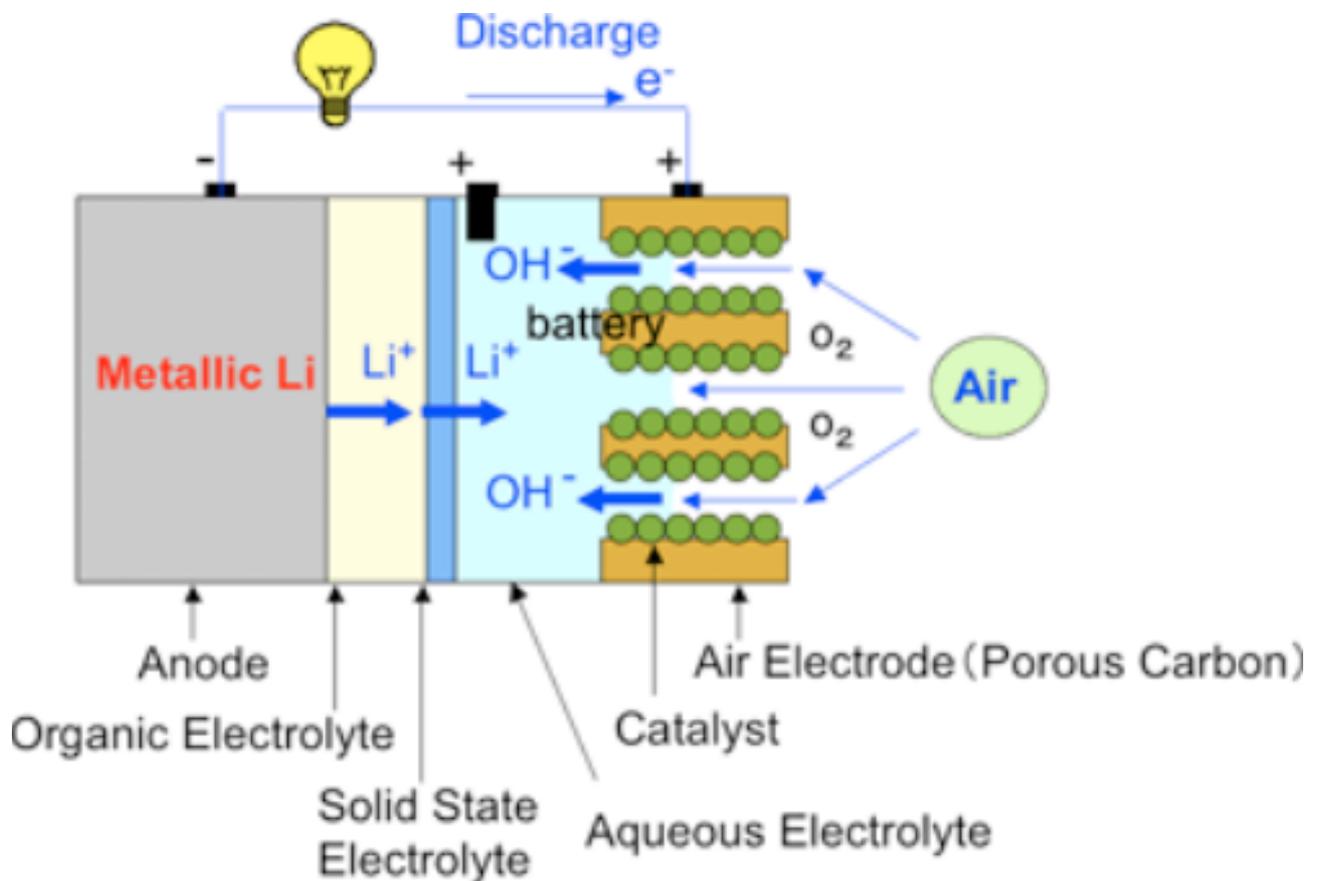
Se una cella Li-ion può raggiungere teoricamente una densità di carica di circa 150 Wh/Kg e un elemento Li-ion di una batteria può raggiungere circa i 105Wh/Kg (in un elemento di batteria il 70% del materiale è composto dalla cella Li-ion il restante 30% è il contenitore della cella stessa), una cella Li-air può raggiungere una densità di carica di 1000Wh/Kg. Il focus fondamentale è la reazione del Litio solido con l'ossigeno e la reversibilità del processo.

nel processo di combinazione del litio con l'ossigeno si crea un composto di reazione che è l'ossido di litio, questo composto tende ad intasare i pori della membrana che permette all'ossigeno di entrare nella batteria e in poco tempo la batteria smette di funzionare, altri studi hanno puntato allo sviluppo di un elettrolita non acquoso che partecipa alla reazione tra litio e ossigeno per la generazione della corrente elettrica, ma anche in questo caso il risultato della reazione è un perossido di litio che intacca gli elettrodi.

Per favorire il processo di reazione tra Litio e Ossigeno è necessario un composto di reazione che non reagisca con gli elettrodi e che non generi precipitati solidi di reazione. Attualmente Toyota sta sviluppando una batteria con elettrodi particolari, il litio è protetto da

Matteo Bernardi per HSF

una barriera di elettrolita organico, uno strato di elettrolita solido, mentre il secondo elettrodo poroso è immerso in un composto elettrolita acquoso.



In questo caso, la riduzione catalitica di O₂ avviene in un elettrolita acquoso, mentre il litio metallico rimane in un non acquoso (organico) elettrolita, i due sistemi elettroliti sono separati da un separatore LiSICON.

Negli ultimi esperimenti Toyota ha dimostrato che queste batterie sono reversibili facendo compiere fino a 100 cicli di carica e scarica mantenendo inalterata l'efficienza della batteria.

I carburanti alternativi

nel processo di riduzione del consumo dei combustibili fossili e nella riduzione complessiva delle emissioni nocive si rende necessario lo sviluppo di nuovi carburanti che possano sostituire parzialmente o totalmente i tradizionali combustibili.

I biocarburanti di prima generazione si sono rivelati complessivamente dannosi, i biocarburanti di prima generazione Bioetanolo e Biodiesel sono ottenuti tramite terreni destinati a colture alimentari ed inoltre il rendimento produttivo del prodotto di sintesi è molto basso

Rese in Biocarburante di Prima e Seconda Generazione



	Prodotto	Resa Agricola in t/ha	Biocarburante	Resa in Bioetanolo per ha
Prima Generazione	Colza	3,5	Biodiesel	1,40
	Grano	6	Bioetanolo	1,65
	Mais	10	Bioetanolo	3,30
	Canna da zucchero	75	Bioetanolo	5,70
Seconda Generazione	Sorgo	35	Bioetanolo	10
	Canna comune	80	Bioetanolo	22

Le emissioni di CO₂ sono il “il risultato della compensazione” tra quelle sequestrate sul campo dalla biomassa e quelle emesse nella combustione del biocarburante.

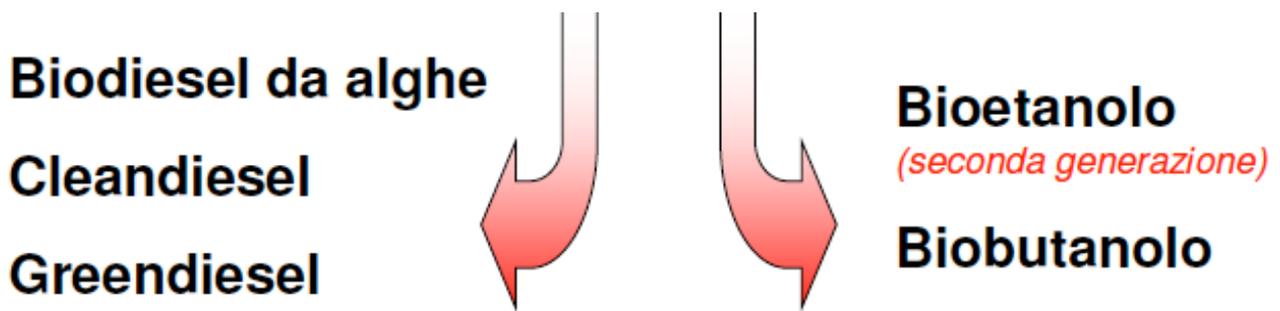
Per cui maggiore è la quantità di biomassa per ettaro, maggiore il sequestro. Questo spiega perché le 85 t/ha di canna da zucchero siano molto più efficaci delle 20 t/ha (tra granello e stocco) del mais.

L'adozione dei biocarburanti è virtuosa se:

1. L'energia che si spende a produrli è minore dell'energia che producono;
2. Il territorio che viene usato per produrre la biomassa necessaria non sostituisce colture più efficienti nel sequestro della CO₂ (foresta amazzonica e peat forest).

Quindi è sicuramente sostenibile una biomassa che sequestra per molte tonnellate e che va su terreni anche marginali.

i biocarburanti futuri di seconda e terza generazione su cui le industrie devono concentrarsi abbandonando rapidamente quelli di prima generazione sono :



Il gasolio sintetico da biomassa (FT-liquids), il dimetiletere (DME), il bio-metanolo e le miscele di alcoli ed altri composti organici ossigenati ottenuti via gassificazione e sintesi catalitica, genericamente indicati come BTL (Biomass to liquids) fuels. Nel primo caso, la produzione del biocarburante viene effettuata con processi analoghi alla sintesi di Fischer-Tropsch, già utilizzati per la produzione di carburanti sintetici da carbone, e la tecnologia è ormai allo stadio di impianto dimostrativo precommerciale (il primo impianto di questo tipo, della Società tedesca Choren AG, è stato inaugurato a Freiberg dal Cancelliere Angela Merkel il 17 aprile 2008). Gli altri processi sono attualmente oggetto di sperimentazione a livello di laboratorio o impianti di piccola scala;

Il biodiesel di nuova generazione, meglio noto come hydrodiesel o greendiesel, ottenuto per idrogenazione catalitica di oli e grassi vegetali e animali, anche con caratteristiche chimico-fisiche tali da renderli inadatti alla produzione di biodiesel convenzionale, o da processi di pirolisi rapida (liquefazione ad alta temperatura in difetto o assenza di ossigeno) di biomasse lignocellulosiche e successivo "reforming" del liquido ottenuto (il cosiddetto bio-olio). Nel caso specifico della prima tecnologia, sviluppata da alcune compagnie petrolifere (tra cui l'italiana ENI), è più corretto parlare di un biocarburante "ibrido" fra la prima e la seconda generazione, considerando che si tratta di un prodotto per il quale sono già in fase di avvio della produzione o in fase avanzata di realizzazione alcuni impianti industriali di grandi dimensioni. La tecnologia della pirolisi è invece ancora in fase sperimentale.

L'etanolo ottenuto da processi biotecnologici di idrolisi enzimatica di materiali lignocellulosici e successiva (o contemporanea) fermentazione degli zuccheri provenienti dalle componenti cellulosa ed emicellulose, oggetto di ricerca e sperimentazione, fino alla realizzazione di impianti dimostrativi, già dalla seconda metà degli anni '70. Questa tecnologia è attualmente al centro di un rinnovato interesse da parte della comunità scientifica internazionale e di alcuni grandi produttori industriali del settore chimico-energetico fra cui, in Italia, il Gruppo Mossi & Ghisolfi, che ha intenzione di avviare entro il 2012 la costruzione del primo impianto europeo per la produzione di etanolo da cellulosa.

I biocombustibili (biolio e biodiesel) ottenuti a partire dall'olio prodotto e accumulato da colture di microalghe, oggetto di numerose attività di ricerca sperimentale, ma ancora lontani da possibili applicazioni industriali in quanto, per ottenere produzioni significative, le estensioni ed i volumi di tali coltivazioni devono raggiungere valori ragguardevoli, dell'ordi-

ne minimo di svariati ettari, e quindi tali da porre, oltre ai problemi di natura tecnologica e di bilanci energetici ed economici, anche una serie di pressioni sull'ambiente ospitante le coltivazioni e su quello circostante.

Le microalghe sono microrganismi presenti in tutti gli ecosistemi della terra, in grado di adattarsi a diverse condizioni ambientali. Grazie alla presenza di clorofilla, esse assorbono la luce del sole e assimilano la CO₂ dall'aria e i nutrienti dagli habitat acquatici per poi produrre lipidi, proteine e carboidrati. Dalla successiva trasformazione di queste molecole è possibile ottenere diversi prodotti che trovano diversa collocazione sul mercato: biocarburanti (bioetanolo, biodiesel, bioolio), prodotti farmaceutici, alimenti e mangimi. Bisogna comunque sottolineare che attualmente la produzione di microalghe per fini energetici avviene in impianti pilota (in vasche da 10 m fino ad impianti da 2 ha).

Documenti e materiale informativo per gentile concessione di:

NASA

ENEA

TOYOTA

HONDA

ARGONNE

MIT

MOSSI e GHISOLFI

PANASONIC

A123

UNIVERSITA' di PADOVA

UNIVERSITA' di TRENTO