

LE BATTERIE DEI VEICOLI ELETTRICI

Di Ugo Bardi
Associazione per lo studio del Picco del Petrolio (ASPO) e
Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze
www.aspoitalia.net

Publicato su www.aspoitalia.net, 2 Dicembre 2006



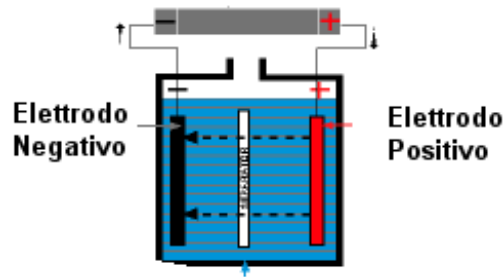
Le batterie, ahimé, sono croce e delizia dei veicoli elettrici. Pensare alle batterie fa venire in mente oggetti pesanti, ingombranti, zeppi di acidi e che uno ritrova buttati nel fiume qua e là passeggiando per i boschi. Ci fa venire in mente che, quando una macchina si ferma di brutto, quasi sempre è colpa della batteria che ha reso l'anima all'improvviso. In effetti le batterie sono il punto debole non solo dei veicoli elettrici ma anche di quelli convenzionali. Se avessimo batterie migliori, più leggere e più durevoli, il mondo sarebbe tutta un'altra cosa: meno puzzo e meno rumore.

In realtà, tuttavia, la situazione dei veicoli a batteria non è così disgraziata come sembra. Le batterie al piombo hanno i loro limiti ma sono state anche molto migliorate negli ultimi tempi. Inoltre, ci sono molti nuovi tipi di batterie, alcune commerciali, altre prototipali, che promettono molto bene e che dovrebbero permettere in tempi abbastanza brevi di fare quel salto di qualità che ci permetterà di girare con i veicoli elettrici senza sentirsi come quei pionieri che viaggiavano sulle automobili di un tempo, quelle che si avviavano a manovella. Ci vorrà ancora un po' di tempo prima che le nuove batterie rendano i veicoli elettrici pari in tutto per tutto a quelli ai quali siamo abituati in termini sia di prestazioni come di costi; ma ci stiamo avvicinando rapidamente. Già oggi, dunque, è interessante cercare di capire che cosa ci aspetta e come funzionano queste batterie, cosa ancora abbastanza arcana e misteriosa per la maggior parte di noi.

La storia delle batterie è molto antica, risale ad Alessandro Volta nell'800, anche se qualcuno aveva pasticciato su queste cose ancora prima. Da allora ne sono passate di cose e i chimici si sono divertiti a inventare una tale quantità di tipi diversi di batterie che sarebbe anche difficile provarsi a elencarle.

Tuttavia, il principio di base di tutte le batterie è sempre quello di fare avvenire una reazione chimica, una cosa non diversa da quello che succede all'interno di un motore a scoppio. Quando bruciamo benzina in un motore, l'energia chimica del carburante si sprigiona in forma di calore. Per ottenere trazione alle ruote dal calore bisogna utilizzare un complesso sistema di cilindri, pistoni, trasmissione, eccetera, tutte quelle cose che fanno un motore a scoppio. I motori elettrici sono molto più semplici dei motori a scoppio, costano meno e sono più efficienti. Ma i motori elettrici hanno bisogno di energia di alta qualità: energia elettrica. Il vantaggio delle batterie è che producono direttamente energia elettrica a partire da una reazione chimica, senza passare per il calore di una combustione.





Non sarebbe impossibile tirar fuori energia elettrica direttamente dalla benzina senza bruciarla, ma sarebbe molto complicato. Nella pratica, le batterie sfruttano l'energia che si può immagazzinare in materiali solidi in forma di "elettrodi" che non emettono fumi e che si immagazzinano facilmente. Quello che succede all'interno di una batteria è che delle particelle ("ioni") cariche positivamente si muovono da un elettrodo a un altro. Per far pari con la carica positiva spostata, bisogna che se ne muova altrettanta negativa. Questi sono gli elettroni, i quali si muovono esternamente alla batteria. Sono gli elettroni che trasportano la corrente elettrica che sfruttiamo.

Detto questo, ci si può sbizzarrire con i materiali con cui fare gli elettrodi. Alessandro Volta, al suo tempo, aveva usato rame e zinco; ma questo tipo di batteria non è più in uso da tempo. Ci sono state varie batterie in competizione nella storia. Oggi, in sostanza ce ne sono di due tipi: quelle *ricaricabili* e quelle *non ricaricabili*. Le batterie non ricaricabili, dette anche comunemente "pile", si usano per tanti usi domestici, le più familiari sono quelle che si comprano al supermercato per mandare radioline, giocattoli, torce elettriche, e cose del genere. Sono pile a zinco-carbonio, dette anche pile "Leclanché" dal nome dell'inventore. Ovviamente, una pila non ricaricabile non è molto interessante per la trazione veicolare, almeno al momento attuale.

Le batterie ricaricabili sono invece quello che ci vuole per un veicolo elettrico, dato che possono essere ricaricate a qualsiasi presa di corrente. A partire dal ventesimo secolo, in pratica, la batteria al piombo è quella che si usa largamente più di tutte le altre. Si chiama batteria al piombo perché tutti e due gli elettrodi sono di piombo. Ovviamente, gli elettrodi non possono essere uguali, altrimenti non ci potrebbe essere una reazione chimica che fa passare corrente. Diciamo che sono due tipi di piombo chimicamente differenti, in quelli che si chiamano due differenti "stati di ossidazione". La batteria al piombo è ben sperimentata, funziona bene, è affidabile e costa relativamente poco. Ovviamente, come tutti sappiamo, è anche pesante e ci può anche lasciare a piedi se non viene trattata bene.

Dati i problemi con le batterie al piombo, da tempo si studiano soluzioni migliori, che possano immagazzinare più energia a parità di peso e che durino di più. La ricerca in questo campo è stata enormemente stimolata dall'elettronica, e soprattutto dai telefonini cellulari. Curiosamente, può darsi che la rivoluzione imminente nel trasporto elettrico sia dovuta a questo "effetto traino" dell'elettronica. Comunque sia, i progressi negli ultimi dieci anni circa sono stati clamorosi e hanno rivitalizzato un campo, quello delle batterie, che era fermo da un secolo o giù di lì. Sono nate tutta una serie di nuove batterie come quelle al nichel-idruro e al litio. Chi è passato da un telefonino antidiluviano con batteria al piombo, a uno già post-estinzione dei dinosauri con la batteria al nickel si è già accorto di come possano cambiare le cose. Passando poi dal nickel al litio, è stato come passare dagli aerei a elica a quelli a turbina che i primi piloti descrivevano ammirati "come se ci fossero gli angeli a spingere"

Alcune delle nuove batterie sono allo stadio prototipale, altre già in commercio, alcune hanno forse già esaurito il loro ciclo. Il tutto ci sembra per il momento ancora molto complicato. Ci vorrà un po' di pazienza, ci abbiamo messo decenni ad abituarci a cose come alberi a camme, bilanceri, valvole, carburatori,

eccetera, le batterie non sono una cosa più complicata, anzi, forse sono una cosa più semplice.

Prima di andare a descrivere i vari tipi di batteria, cerchiamo di capire quali sono le caratteristiche che da una batteria vogliamo. Queste le possiamo elencare come:

1. *Efficienza.* E' una misura di quanta energia viene effettivamente restituita dalla batteria dopo che è stata caricata. Tutte le batterie in uso sono abbastanza buone in questo senso; con rese di almeno il 70%, ma alcune sono ancora migliori.
2. *Densità di energia.* Una misura di quanta energia può accumulare la batteria per unità di peso. Questo parametro è, ovviamente, importantissimo per un veicolo stradale ed è uno dei limiti principali delle attuali batterie al piombo. La densità di energia viene misurata di solito in Wh/kg o kWh/kg
3. *Densità volumetrica di energia.* Una misura dell'energia che può accumulare la batteria per unità di volume. Questo è un parametro forse meno importante del peso, ma lo stesso le batterie di un veicolo non possono essere troppo voluminose e ingombranti.
4. *Durata di vita.* Tutte le batterie si degradano gradualmente via via che vengono utilizzate. Il numero di cicli ammissibile determina la vita media di una batteria. Questo ne influenza, ovviamente, il costo.
5. *Tempo di ricarica.* Un parametro molto importante per un veicolo elettrico. Meno tempo ci vuole per ricaricare, più è pratico l'uso del veicolo.
6. *Autoscarica.* Tutte le batterie perdono progressivamente un po' di carica quando sono lasciate ferme. Questo non è normalmente un problema, ma può diventarlo se il veicolo deve essere lasciato fermo per un tempo molto lungo, parecchi mesi per esempio. L'effetto può essere veramente distruttivo per quei tipi di batteria che vengono danneggiati da scariche profonde.
7. *Costo.* Questo è un parametro importantissimo, che dipende sia dai materiali utilizzati sia dalla vita media della batteria. Anche una batteria costosa può essere accettabile se dura a lungo. Viceversa, si può accettare di dover cambiare una batteria spesso, posto che costi poco.

Ci sono altri parametri più tecnici che tralascieremo qui, come la resistenza interna, la curva di voltaggio in funzione della corrente e altri parametri come la capacità di fornire un voltaggio costante via via che la batteria si scarica; nessuno vorrebbe guidare un mezzo che va sempre più piano mentre lo si guida. Ci sono anche parametri correlati alla sicurezza. Alcune batterie possono esplodere se vengono trattate in modo sbagliato; questo comunque succede estremamente di rado. In pratica, il tutto non è più complicato di certe cose alle quali siamo bene abituati per i motori a scoppio. Però, ci vorrà un certo tempo per abituarci.

Quale batteria scegliere? In un certo senso, la batteria fornisce il carburante al motore del veicolo. Nel caso dei motori a scoppio, ci sono soltanto due o tre scelte di carburanti. Potete andare a diesel o a benzina, quest'ultima esiste nell'incarnazione "normale" oppure "super". La differenza fra le due sta in un parametro abbastanza misterioso, detto "numero di ottani" che gli esperti sanno non fare nessuna differenza nelle prestazioni dei motori normali. Viceversa, per le batterie, esistono molti tipi differenti; che adesso andremo a descrivere

- *Piombo* La batteria al piombo ci accompagna ormai da più di un secolo, anche se non è certamente

la soluzione ottimale per il trasporto elettrico. Il piombo è uno degli elementi più densi che esistono e il risultato è che le batterie al piombo sono molto pesanti, come vi siete potuti accorgere se mai vi siete messi a cambiarne una alla vostra automobile. Ci sono altri inconvenienti delle batterie al piombo, sono sensibili al caldo e al freddo, contengono acido solforico, che è corrosivo e pericoloso; in più richiedono parecchie ore per la ricarica. Forse il problema principale è la loro durata limitata; nella pratica non amano quello che viene chiamato la "scarica profonda", ovvero sfruttare tutta l'energia contenuta e poi ricaricarle. Una batteria al piombo, in media, regge circa 300 cicli di scarica profonda prima che diventi inutilizzabile. Tuttavia, è con le batterie al piombo che oggi si fanno la maggior parte dei veicoli elettrici. L'uso di batterie al piombo-gel sigillate ha molto migliorato la situazione della sicurezza rispetto a pochi anni fa e, con tutti i loro difetti, queste batterie sono comunque utilizzate per veicoli con prestazioni, se non entusiasmanti, perlomeno accettabili.

- *Nichel-cadmio (Ni-Cd)*. Le batterie al NiCd sono state uno dei primi tentativi di superare i limiti delle batterie al piombo per veicoli elettrici. In effetti, hanno una densità di energia maggiore di quella delle batterie al piombo, si ricaricano molto più velocemente (basta un'oretta) e hanno una durata di vita che può essere di 800-1000 cicli. Chi ha provato un veicolo con le batterie al NiCd dopo essersi abituato alle batterie al piombo, si accorge subito del salto di qualità corrispondente, sia per la maggior leggerezza del veicolo, sia per la comodità della ricarica rapida. Purtroppo, le batterie al NiCd hanno due problemi; il primo è che il cadmio è molto tossico, quindi ci sono problemi con la gestione delle batterie usate. Il secondo è il cosiddetto "effetto memoria" che fa sì che la batteria si ricordi di quanto è stata scaricata nei cicli precedenti e che generi una forte caduta di voltaggio a quel punto. La questione dell'effetto memoria è controversa; c'è chi nega che esista, altri danno varie ricette per ringiovanire una batteria che ne soffre, il tutto sa un po' di magia nera. Comunque sia, le batterie al NiCd per ora non si usano quasi più.
- *Nichel-metallo idruro (Ni-MH)*. Sono un tipo di batteria che ha sostituito quelle al NiCd e che sono state la base dei dispositivi elettronici portatili fino a non molto tempo fa. Come densità di energia sono superiori alle batterie al NiCd di un fattore circa una volta e mezzo, o anche due in certi casi. Si caricano anche abbastanza rapidamente e reggono un migliaio di cicli e anche di più. Un inconveniente, non particolarmente grave, è l'autoscarica, leggermente superiore a quello delle NiCd; un altro è la sensibilità alle alte temperature. Per i veicoli, il problema del Ni-MH è che sono un po' care. Questo è dovuto al fatto che "M" sta per "metallo"; il che indica una miscela che contiene anche terre rare e che è costosa. In pratica, ci sono stati pochi veicoli commerciali che hanno utilizzato batterie al NiMH, ma ce ne sono.
- *Sodio -cloruro di nichel (batterie "zebra")* Queste batterie sono di origine militare, le si usavano, e le si usano tuttora, nei sommergibili e per delle buone ragioni. Sono eccellenti batterie, leggere e che durano molti anni. Si ricaricano alla svelta, sono robuste, hanno tantissimi vantaggi. Con queste batterie, si fanno dei veicoli che hanno poco da invidiare, come prestazioni ai veicoli convenzionali. Il loro problema sta nel fatto che funzionano soltanto ad alta temperatura, intorno ai 300 gradi. Se questo non è un problema per un sommergibile, la cosa diventa difficilmente gestibile per un motorino. In pratica, queste batterie si possono usare solo per veicoli relativamente grandi, furgoncini per esempio, dove la massa aiuta a mantenere la temperatura alta senza sprecare troppa energia. D'altra parte se la batteria viene riportata a temperatura ambiente, rimane congelata come uno stoccafisso e non ha problemi di immagazzinamento. Queste batterie sono ancora un po' costose ma potrebbero rivelarsi una tecnologia importantissima per il trasporto pesante e per mezzi pubblici tipo autobus e comunque per veicoli che non rimangono fermi a lungo.
- *Litio (litio ioni o litio polimeri)*. La batteria del futuro, quella che è stata la base della rivoluzione dei telefonini e dell'elettronica portatile. La batteria al litio usa il metallo più leggero che esista, il litio come mezzo di stoccaggio dell'energia. Il tipo più comune è quello detto "litio-ioni" dove lo stesso

ione litio viene spostato su due elettrodi diversi, uno è di grafite, l'altro è un ossido metallico, tipicamente cobalto. La batteria al litio-polimeri è più recente e non ancora comune, anche se un modello commerciale viene prodotto in Corea dalla Kokam (www.kokam.com). Come dice il nome, comunque, questa batteria usa polimeri solidi come elettrolita. Ha il grosso vantaggio di essere completamente solida, ovvero è robusta e, in certi modelli, anche meccanicamente flessibile. Esiste anche un terzo tipo che viene detta "litio-metallo". Questa è una batteria potenzialmente migliore delle altre due, ma ha lo svantaggio che il litio metallico può reagire violentemente con l'aria e incendiarsi. Questo, in effetti può succedere occasionalmente anche con le litio-ioni quando qualcosa va storto e lo ione viene trasformato in metallo. Le litio-ioni e le litio-polimeri sono le batterie con la più alta densità di energia esistenti, si ricaricano alla svelta, durano a lungo, in sostanza hanno tutti i vantaggi. L'unico loro inconveniente rimasto è, per ora, quello del costo ancora un po' elevato. Per i veicoli elettrici, dobbiamo ancora passare attraverso la rivoluzione che ha portato le batterie al litio a diffondersi nell'elettronica portatile. Ci dovremmo arrivare in pochi anni.

- *Altri tipi di batterie per autotrazione.* Nella fase attuale di grande fermento, gli inventori si sbizzarriscono su tutti i possibili tipi di batterie. Possiamo citare le Nichel-Zinco (NiZn) che sono ottime batterie con prestazioni simili a quelle al nichel cadmio, ma senza il problema della tossicità del cadmio. Purtroppo sono arrivate tardi sul mercato e non hanno avuto un grande successo commerciale. Ci sono poi le batterie dette al "Vanadio Redox" dove il materiale che si ossida/riduce (vanadio) è in forma liquida piuttosto che solida. Questo ha il grande vantaggio che gli elettrodi non si degradano. Le batterie al Vanadio Redox sono promettenti, ma anche piuttosto ingombranti e, per il momento, ancora allo stadio prototipale. Citiamo anche le batterie "metallo-ossigeno" dove il metallo può essere, tipicamente, zinco, ma anche metalli come il ferro, il magnesio e l'alluminio. Queste batterie hanno buone densità energetiche, sono affidabili e costano relativamente poco. Il problema è che non sono ricaricabili, il che complica enormemente il loro uso per la trazione veicolare. Non che sia impossibile usarle, ma non si riportano usi commerciali, soltanto militari. Ci sono poi altri modi di immagazzinare energia che non sono batterie ma che comunque producono energia elettrica come output. Fra queste citiamo i supercondensatori, dove la carica elettrica viene immagazzinata direttamente e non come reazione chimica. I supercondensatori hanno il grande vantaggio di essere caricabili e scaricabili molto rapidamente, ma per il momento non hanno possibilità di competere con le batterie per questioni di costo. Semmai, i supercondensatori si possono usare accoppiati con batterie convenzionali per fornire lo "spunto" che queste ultime non sono in grado di dare. Finalmente, citiamo anche le "pile a combustibile" dove si ottiene energia elettrica a partire da una reazione chimica che avviene su un elettrodo. Il tipo di pila a combustibile più noto è quello che utilizza idrogeno come combustibile. L'idea è nota da molto tempo e recentemente è tornata di molto di moda con il concetto di "economia basata sull'idrogeno". Nella pratica, tuttavia le pile a combustibile sono costose e poco affidabili mentre il problema dell'immagazzinamento dell'idrogeno su un veicolo stradale rimane non risolto. Se ne potrà parlare, forse, fra una ventina di anni, ma per allora è probabile che le batterie al litio, o altri tipi, abbiano risolto il problema di eliminare i combustibili fossili dall'uso per i veicoli.

Riportiamo qui di seguito una tabella comparativa delle proprietà di alcune batterie. Questi dati sono presi dalla letteratura disponibile su internet. Vanno presi con molta cautela, la realtà pratica è spesso diversa da quella che si legge nei vari documenti. Inoltre, la tecnologia migliora sempre e i dati validi oggi possono diventare obsoleti molto rapidamente.

	NiCd	NiMH	Piombo acido	Li-ioni	Li- polimero	Zebra
Densità di energia (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	120
Numero di cicli (fino all'80% della capacità) iniziale)	500	1000-1200	200 - 300	500 - 1000	1200-1500	1000+
Tempo di ricarica	1h	2-4h	8-16h	2-4h	2-4h	4-8h
Autoscarica (per mese a temperature ambiente)	20%	30%	5%	10%	~10%	14% al giorno per mantenere la temperatura
Voltaggio nominale di Cella	1.25V	1.25V	2V	3.6V	3.6V	2.58V
Temperatura di uso	-40 60°C	-20 60°C	-20 60°C	-20 60°C	0 60°C	300 °C

Per il futuro, non si prevedono innovazioni rivoluzionarie nelle batterie. Abbiamo una tecnologia che è già efficiente e funzionante, quindi ci si aspetta una graduale penetrazione nel mercato di prodotti sempre migliori. L'esigenza sempre più pressante di ridurre l'inquinamento atmosferico nelle città, come pure di eliminare la dipendenza dal petrolio dei paesi occidentali, rende sempre più appetibile la trazione a batterie, che si presenta come una soluzione reale e disponibile oggi, a differenza di promesse non mantenute, e probabilmente impossibili da mantenere, come i veicoli a idrogeno. Una possibile sorpresa potrebbe venire dai supercondensatori, ma è probabile che nel futuro vedremo più che altro gradualmente diminuire la presenza delle batterie al piombo, che saranno rimpiazzate dalle batterie al litio, sia come litio-ione che come litio-polimero.

Questa evoluzione consentirà di eliminare completamente i combustibili fossili come la principale fonte di energia per la trazione. Considerando che le batterie non producono inquinamento gassoso o liquido e che possono essere facilmente riciclate, come già si fa per tutti i modelli al piombo, le batterie rappresentano un modo concreto e disponibile già oggi per liberarsi degli effetti dannosi della combustione ad alta temperatura che generano nanoparticelle e gas dannosi per la salute, come pure dei danni all'atmosfera causati dalla produzione di biossido di carbonio. Lo possiamo fare, basta volerlo.