

Batterie al Piombo

Caratteristiche e i limiti di utilizzo delle varie tipologie di batterie disponibili sul mercato

© 2007 – by Spray

<http://spazioinwind.libero.it/spray/>

1. Introduzione

Per poter effettuare la corretta scelta di una batteria in funzione dell'impiego per il quale si intende utilizzarla è necessario comprendere meglio le caratteristiche e i limiti di utilizzo delle varie tipologie di batterie disponibili sul mercato (stazionarie, trazione, avviamento, ecc.).

Per far questo è opportuno esaminarne sommariamente il principio di funzionamento e le varie tecnologie costruttive (a vaso aperto, ermetiche, al gel, SVR, AGM, ecc.) per ciascuna tipologia.

Quando in ambito nautico (diporto) quando si parla di batterie in genere si parla di batterie "al piombo" e sarebbe più corretto usare il termine di "*batteria di accumulatori al piombo*".

Infatti una classica batteria per uso nautico o automobilistico da 12 V in realtà è costituita da una serie di "accumulatori al piombo" comunemente chiamati elementi (nel caso specifico sono sei) che forniscono ciascuno una tensione nominale di 2,16 V.

Vediamo adesso quale è il principio che sta alla base del funzionamento di un accumulatore al piombo.

2. La Cella Galvanica

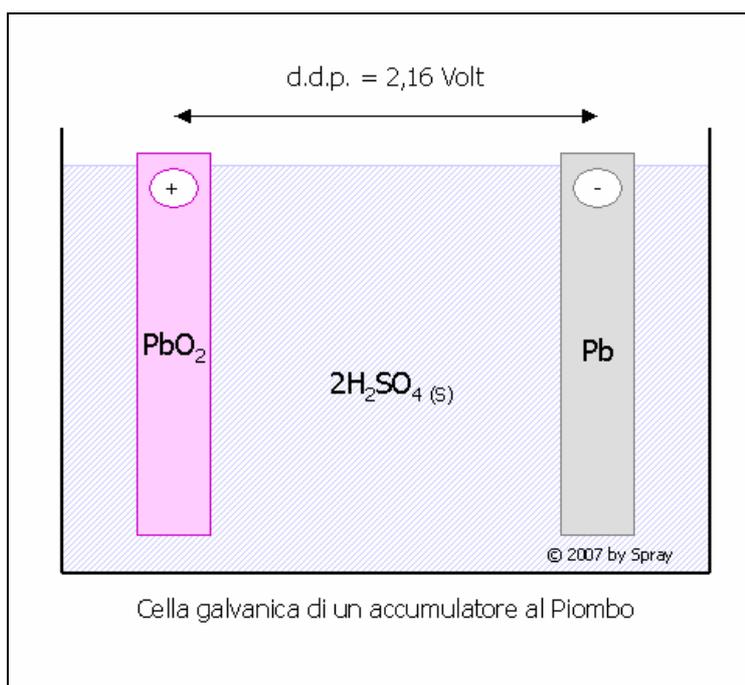
Ciascun elemento della batteria è costituito da una "cella galvanica" in cui avviene una reazione "reversibile" di ossidoriduzione attraverso la quale è possibile, alternativamente "accumulare" e "prelevare" energia elettrica (da cui il termine "accumulatore").

La "cella galvanica" di un accumulatore al piombo è costituita da un recipiente al cui interno si trova un "elettrolita" formato una soluzione acquosa di acido solforico H_2SO_4 (s) (1,32 gr/cm³) in cui sono immersi due elettrodi posti parallelamente a breve distanza l'uno dall'altro.

L' elettrodo positivo è costituito d una lastra di diossido di piombo (PbO₂) mentre l'elettrodo negativo è costituito d una lastra di piombo metallico (Pb).

Senza addentrarci troppo nella teoria elettrochimica basta ricordare che un elettrolita è una soluzione in grado di trasportare cariche elettriche attraverso lo spostamento di "ioni" che sono presenti nella soluzione stessa, nel caso specifico in una soluzione acquosa di acido solforico (H₂SO_{4(S)}) sono presenti ioni H⁺ e ioni SO₄²⁻.

Immergendo in una soluzione elettrolita una lamina metallica, in funzione delle caratteristiche elettrochimiche degli elementi chimici coinvolti (elettrodo e elettrolita), si genera sulla superficie di contatto tra elettrodo e elettrolita una reazione di ossidoriduzione che determina all'equilibrio una differenza di potenziale (d.d.p.) in prossimità della superficie di contatto che provoca un movimento di cariche elettriche.



Cella galvanica di un accumulatore al Piombo

Nel caso specifico di un accumulatore al piombo all'elettrodo positivo (piastra di diossido di piombo PbO₂) si ha la seguente reazione:



Mentre all'elettrodo negativo (piastra di piombo metallico Pb) si avrà la seguente reazione:

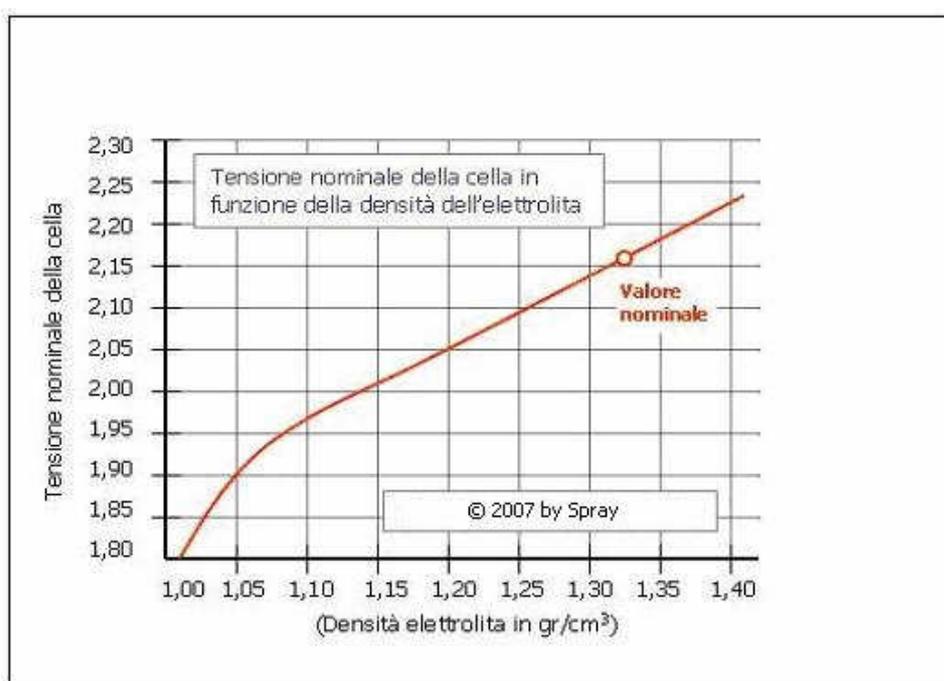


La reazione totale che si ottiene è la seguente:



Come già detto la reazione è reversibile e avviene spontaneamente da sinistra verso destra (scarica) e fornendo energia (carica) da destra verso sinistra.

La differenza di potenziale che si stabilisce tra i due elettrodi è la somma dei potenziali delle singole semireazioni il cui valore dipende essenzialmente dai potenziali di riduzione delle due reazioni e dalla concentrazione dell'elettrolita nella soluzione, risulta invece indipendente dalla forma e dalle dimensioni degli elettrodi stessi (piastre).



Nel caso di un accumulatore al piombo perfettamente carico (lato sinistro delle formule) la differenza di potenziale vale:



Una importante legge dell'elettrochimica (equazione di Nernst) ci dice appunto che la differenza di potenziale che si stabilisce tra gli elettrodi di una cella galvanica dipende, entro certi limiti, dalla concentrazione di ioni presenti nella soluzione elettrolita (oltre che, come vedremo più avanti, dalla temperatura).

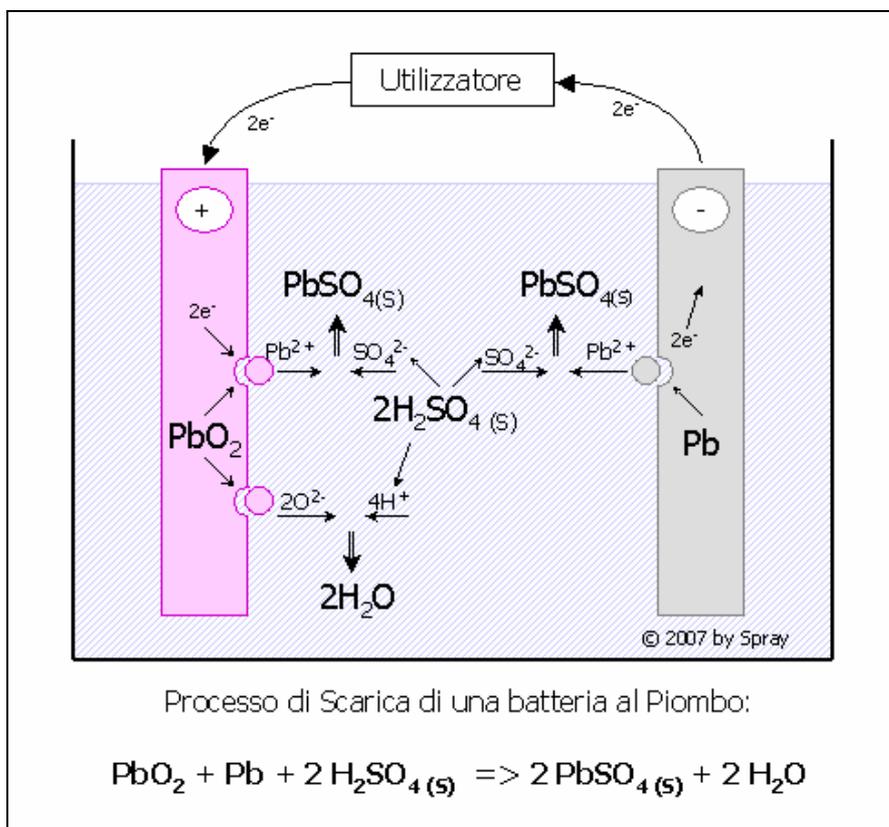
Sulla base di questo principio si può infatti ritenere valida la seguente relazione empirica mediante la quale si può ricavare il valore della tensione della cella in funzione della densità dell'elettrolita:

$$- V_{\text{cell}} \text{ (Volt)} = 0,84 + D \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Questo ci permette già di notare un aspetto importante che caratterizza un accumulatore al piombo, "lo stato di carica di una batteria al piombo può essere verificato attraverso la misura della densità del suo elettrolita".

3. Il processo di scarica della batteria al Piombo:

Vediamo adesso cosa succede quando colleghiamo un utilizzatore alla batteria. Chiudendo il circuito elettrico tra i due elettrodi si determina un passaggio di elettroni che dall'elettrodo negativo fluiscono attraverso l'utilizzatore fino a raggiungere l'elettrodo positivo generando quindi una corrente elettrica.



Gli elettroni che dall'elettrodo negativo raggiungono, attraverso l'utilizzatore, l'elettrodo positivo provocano una variazione di carica dell'elettrodo stesso che

causa la dissociazione delle molecole di diossido di piombo (PbO_2) di cui è costituito l'elettrodo positivo, in ioni Pb^{4+} e O^{2-} con la conseguente riduzione di ioni Pb^{4+} in ioni Pb^{2+} .

Gli ioni Pb^{2+} e O^{2-} passando in soluzione reagiscono con gli ioni H^+ e SO_4^{2-} presenti nell'elettrolita formando molecole di solfato di piombo PbSO_4 e acqua H_2O .

Sull'elettrodo negativo invece la perdita di elettroni conseguente al passaggio di corrente provoca la formazione di ioni Pb^{2+} che passando in soluzione reagiscono con gli ioni SO_4^{2-} presenti nell'elettrolita formando molecole di solfato di piombo PbSO_4 analogamente a quanto avviene sull'elettrodo positivo ma senza la formazione di acqua.

Si può quindi affermare che in un accumulatore al piombo il processo di scarica avviene attraverso una *reazione reversibile in cui il piombo di cui sono costituiti gli elettrodi reagisce con l'acido solforico presente nella soluzione elettrolita formando acqua e solfato di piombo.*

Durante il processo di scarica la formazione di acqua e di solfato di piombo (PbSO_4) causano la diminuzione della concentrazione di acido solforico (H_2SO_4) nella soluzione elettrolita e quindi della sua densità che determina, come abbiamo visto sopra, l'abbassamento della differenza di potenziale tra gli elettrodi in accordo con l'equazione di Nernst sopra citata.

Come abbiamo già detto la reazione di ossidoriduzione che è alla base del funzionamento di un accumulatore al piombo avviene sulla superficie di contatto tra gli elettrodi e l'elettrolita, da ciò risulta intuitivo che *"l'intensità della corrente elettrica che una batteria può generare è direttamente proporzionale all'area della superficie di contatto tra elettrodi e elettrolita"*. Tanto maggiore è la superficie di contatto tanto maggiore sarà il numero di molecole che "contemporaneamente" entrano a far parte della reazione producendo un flusso di elettroni più "intenso".

Analogamente *la quantità totale di energia che un accumulatore può immagazzinare è direttamente proporzionale alla quantità di materia (molecole) degli elementi che entrano a far parte della reazione durante il processo di scarica.*

Vedremo più avanti come questi due aspetti siano determinanti per comprendere meglio quali sono le sostanziali differenze costruttive tra una batteria ciclica e una batteria da avviamento.

4. Il processo di ricarica della batteria al Piombo:

Durante la fase di ricarica di una batteria al piombo avviene un processo inverso a quello appena descritto.

Collegando ai due elettrodi un generatore di corrente si ha il passaggio di elettroni dall'elettrodo positivo al generatore e da questo all'elettrodo negativo.

Per maggiore chiarezza vale la pena ricordare che sebbene convenzionalmente si consideri che la corrente elettrica in un circuito, in regime di corrente continua, fluisca dal polo positivo verso il polo negativo, in realtà, fisicamente, la corrente elettrica in un elemento conduttore è costituita da un flusso di elettroni che, avendo carica negativa, si muovono sempre dal polo negativo verso quello positivo.

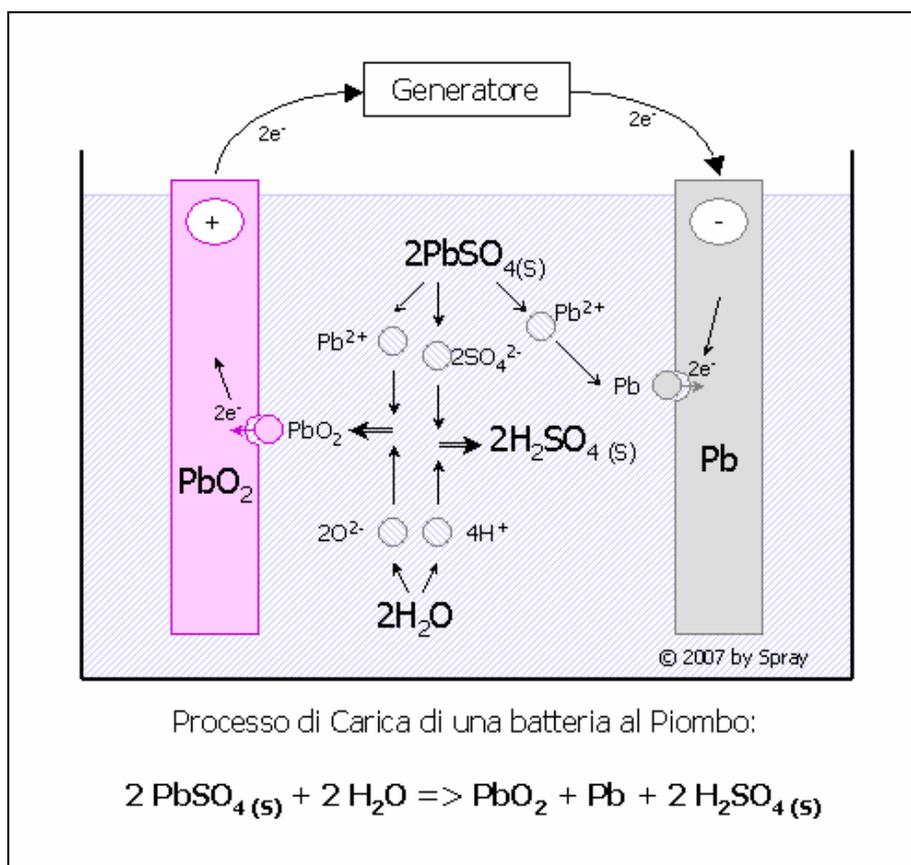
Nel caso della ricarica di un accumulatore quanto affermato potrebbe sembrare non vero in quanto, come detto, gli elettroni in questo caso si spostano dall'elettrodo positivo a quello negativo, ma ciò avviene a causa di una forza esterna che compie un lavoro, infatti è la forza elettromotrice del generatore a contrastare il normale flusso e ad imprimere alla corrente un verso opposto a quella che normalmente la corrente stessa ha nella fase di scarica.

Vediamo adesso che cosa accade ai due elettrodi.

Sull'elettrodo negativo l'afflusso di elettroni provoca la "riduzione" degli ioni Pb^{2+} con la deposizione sull'elettrodo stesso di atomi di piombo metallico (Pb) e la formazione di ioni SO_4^{2-} conseguente alla scomposizione del solfato di piombo ($PbSO_4$) che si era formato nella fase di scarica.

Sull'elettrodo positivo la sottrazione di elettroni provoca "l'ossidazione" degli ioni Pb^{2+} in ioni Pb^{4+} che reagendo con gli ioni O^{2-} presenti in soluzione per la dissociazione elettrolitica dell'acqua depositano di nuovo diossido di piombo (PbO_2) sull'elettrodo positivo liberando in soluzione ioni H^+ che vanno a bilanciare gli ioni SO_4^{2-} ottenuti dalla dissociazione del solfato di piombo, di conseguenza si viene così a ripristinare gradualmente l'iniziale concentrazione di acido solforico nella soluzione elettrolita con la contemporanea scomparsa del solfato di piombo.

Il processo di ricarica si può considerare ultimato quando tutte le molecole del solfato di piombo ($PbSO_4$) formatesi durante la scarica sono state nuovamente scomposte ripristinando l'iniziale concentrazione di acido solforico nell'elettrolita.



Se, raggiunta questa condizione (carica completata), si continua a fornire energia alla batteria non si ha ulteriore incremento di carica ma l'energia fornita produce solamente ulteriore elettrolisi delle molecole d'acqua presenti nella soluzione con la formazione a questo punto di idrogeno H_2 e Ossigeno O_2 allo stato molecolare (gas) condizione questa estremamente pericolosa in quanto la miscela dei due gas ad elevate concentrazioni può risultare esplosiva.

Poiché non vi è un confine preciso tra i due processi chimici bisogna sempre considerare che durante la fase di carica di una batteria al piombo (specialmente nella fase finale della carica) si forma sempre del gas ed è quindi importante che l'ambiente in cui avviene la ricarica sia opportunamente "ventilato" specialmente se la batteria è del tipo "a vaso aperto", peraltro questa necessità è stata recentemente recepita dalle normative anche nel caso di utilizzo di batterie ermetiche (norma CEI 21-6/3).

La normativa indica la portata d'aria minima richiesta per una corretta ventilazione in funzione del tipo di batteria e della corrente di carica secondo la formula:

$$- P \text{ (m}^3\text{/ora)} = 0,05 * I * N * k$$

Dove:

P = Portata d'aria in m³/ora

I = Corrente di carica (per carica a 2,4 Volt/elemento)

N = Numero elementi di cui è composta la batteria

K = Coefficiente per % di antimonio (K=1 se >3%, K=0,5 se <3%)

E' inoltre importante che il processo di carica non si protragga oltre il necessario in quanto oltre alla formazione di gas pericolosi vi è anche l'effetto, non secondario, della perdita di acqua dalla soluzione con la conseguente variazione della densità e del livello dell'elettrolita rispetto ai valori ottimali nel caso di batterie con elettrolita liquido o di formazione di bolle di gas che rimangono imprigionate in modo irreversibile nell'elettrolita nel caso di batterie al gel.

Senza scendere nel dettaglio e nell'analisi dei complicati processi chimico-cinetici che avvengono è comunque intuitivo comprendere che oltre alla durata del ciclo di ricarica anche l'intensità della corrente di carica ha la sua importanza in quanto una troppo elevata corrente di carica può aumentare i rischi di cui sopra specialmente nel caso di batterie con elettrolita al gel dove la "mobilità" degli ioni risulta ridotta o nel caso di batterie ermetiche in cui la formazione troppo rapida di gas può causare eccessive pressioni e aumenti eccessivi di temperatura che possono portare al prematuro deterioramento della batteria stessa.

5. La solfatazione degli elettrodi:

Come è stato già descritto, nei processi di scarica e successiva ricarica di un accumulatore al piombo le reazioni chimiche che sono coinvolte portano, nella fase di scarica alla produzione di solfato di piombo (PbSO₄) e al suo successivo riassorbimento nella fase di ricarica con il ripristino della iniziale densità della soluzione elettrolita di acido solforico (H₂SO₄).

Il solfato di piombo è chimicamente un "sale" e ha quindi la tendenza a "cristallizzare" ovvero a compattarsi in una struttura solida depositandosi sugli elettrodi in modo pressochè irreversibile.

E' ovvio che un elettrodo su cui una parte del materiale attivo è stato sostituito da cristalli di solfato di piombo presenterà una limitata capacità di accumulare/restituire cariche questo processo è noto con il nome di "solfatazione".

Purtroppo i sali di solfato di piombo in forma cristallina presentano una elevata difficoltà ad essere riconvertiti in materiale attivo e quindi una volta che si è determinata la solfatazione estesa degli elettrodi l'accumulatore è da ritenere irreversibilmente danneggiato.

Le cause che portano alla solfatazione degli elettrodi sono molteplici ma la principale causa di solfatazione è la permanenza dell'accumulatore in condizione di scarica anche parziale, ovviamente il fenomeno sarà tanto più rapido quanto maggiore è il livello di scarica e la permanenza in tale stato.

Per garantire quindi una buona durata di una batteria al piombo è opportuno evitare la permanenza per lungo periodo in condizioni di scarica anche solo parziale.

La temperatura aumenta il rischio di solfatazione specie nei lunghi periodi di inattività della batteria in quanto favorisce il lento processo di autoscarica che è una causa della solfatazione.

Le batterie con elettrolita liquido sono maggiormente affette da questo problema in particolare quelle a vaso aperto specie laddove a seguito della perdita di acqua si avesse parte dell'elettrodo che non risulta immerso nell'elettrolita.

Le batterie con elettrolita al gel sono meno affette dal problema della solfatazione, che è comunque presente, in particolare quelle realizzate con tecnologia a "ricombinazione" (AGM – Absorbed Glass Mat).

In ogni caso è buona norma specialmente nei lunghi periodi di inattività mantenere costantemente le batterie al piombo sotto un piccola corrente di carica (carica di mantenimento) con lo scopo di contrastare il processo di autoscarica e con esso il rischio di solfatazione.

6. Caratteristiche fisiche della cella:

Come è stato già precedentemente evidenziato la "capacità" di una cella di immagazzinare energia dipende essenzialmente dalla "quantità" di piombo con cui sono costituiti gli elettrodi (piastre).

In sostanza, anche se non del tutto corretto, è lecito affermare che ad una maggiore quantità di piombo nella cella (diossido di piombo e piombo molecolare rispettivamente per l'elettrodo positivo e per quello negativo)

corrisponde una maggiore capacità della cella stessa di immagazzinare energia (Amp/h).

In pratica si può affermare che una coppia di elettrodi più grandi e più spessi, pur producendo la stessa tensione (2,16V) di una coppia di elettrodi piccoli e sottili, sono però in grado di erogare energia più a lungo in quanto possono immagazzinare un numero più elevato di cariche (elettroni).

Per contro abbiamo già visto precedentemente come il numero di cariche (elettroni) che una cella può assorbire/rilasciare nell'unità di tempo dipende essenzialmente dall'estensione della superficie di contatto tra elettrodo e elettrolita nonché dalla rapidità con cui gli ioni presenti in soluzione raggiungono il materiale attivo dell'elettrodo (piombo) e dalla rapidità con cui i prodotti di reazione (acqua) se ne allontanano.

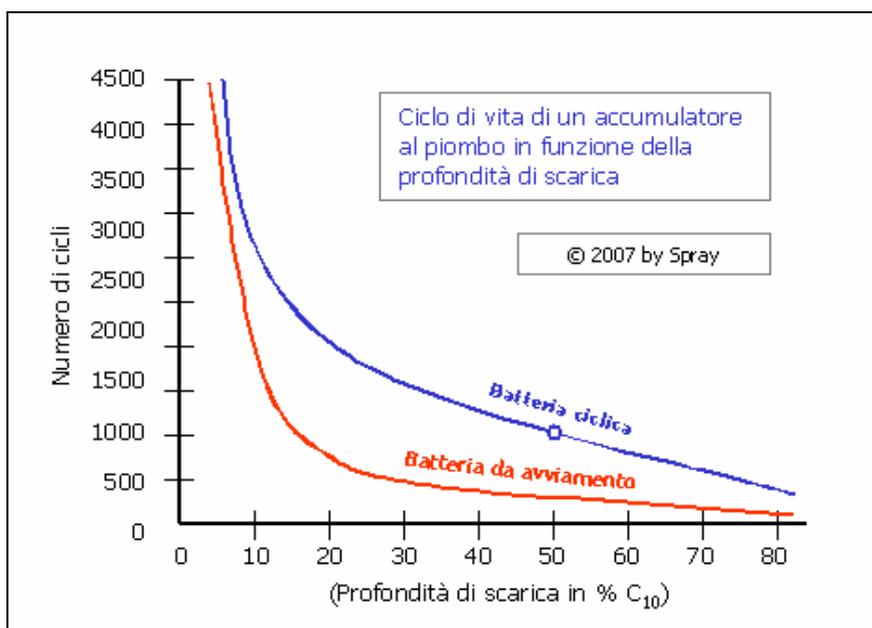
Da ciò se ne deduce che un elettrodo realizzato con una superficie porosa avrà una maggiore "rapidità" nel rilasciare/acquisire cariche rispetto ad uno con una superficie compatta e densa il che si traduce a parità di capacità (Amp/h) nella possibilità di erogare/ricevere correnti di scarica/carica (Amp) più elevate.

Sfortunatamente però un elettrodo con tali caratteristiche avrà una resistenza meccanica e strutturale minore che si traduce tra l'altro nell'impossibilità di poter resistere a cicli di scarica profondi e ripetuti che provocherebbero alterazioni meccaniche e strutturali irreversibili dell'elettrodo stesso che sono invece meno evidenti in un elettrodo spesso e compatto.

La differenza strutturale degli elettrodi, precedentemente descritta, costituisce la principale differenza costruttiva che esiste tra una batteria ciclica e una batteria da avviamento.

Si può quindi affermare che per i motivi già illustrati, una batteria da avviamento, realizzata con elettrodi sottili e porosi, rispetto ad una batteria ciclica realizzata con elettrodi spessi e compatti, a parità di capacità (Amp/h) sarà in grado di fornire per brevi periodi correnti di intensità molto elevata ma non sarà possibile prostrarre la scarica oltre il 40 – 50 % della sua capacità nominale senza provocarne danni irreversibili.

Per contro una batteria ciclica, per come è costruita, non sarà in grado di erogare/accettare forti correnti pur permettendo di realizzare numerosi cicli di scarica/ricarica che possano tranquillamente raggiungere una profondità di circa l' 80% della sua capacità nominale.



Importante quindi, in particolare per una batteria ciclica, nella fase di ricarica evitare di applicare forti correnti di ricarica che per i motivi già esposti si tradurrebbero soltanto in produzione eccessiva di gas e dissipazione di calore entrambi dannosi per la batteria stessa.

7. Capacità nominale di un accumulatore:

Come abbiamo visto l'attitudine di un accumulatore ad immagazzinare energia è uno degli elementi fondamentali che lo contraddistingue, questa attitudine è espressa numericamente da un parametro "C" la "capacità" di un accumulatore ed è espressa dalla grandezza "A/h" (amper/ora) che definisce la quantità di energia che l'accumulatore è in grado di erogare per un certo tempo e in "certe" condizioni.

Poiché come vedremo in seguito la capacità di un accumulatore di erogare energia non è una grandezza fissa ma dipende da alcuni fattori è stato definito un criterio di riferimento per quantificare il parametro in modo univoco.

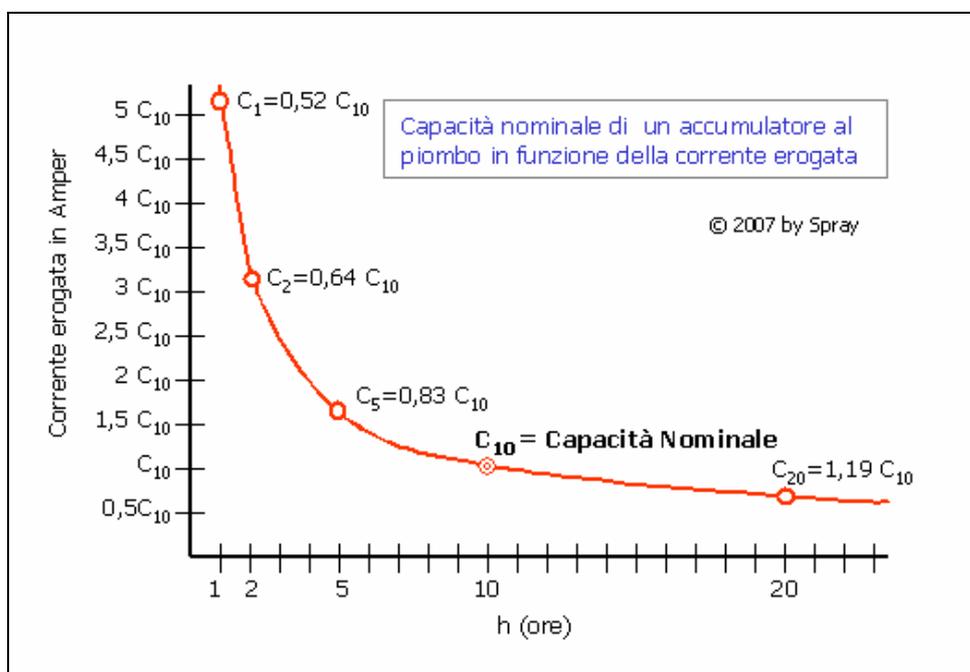
La capacità di un accumulatore è generalmente indicata dal simbolo " **C_{nn}**" la lettera C seguito da un pedice numerico che indica la durata in ore del processo di scarica a cui la capacità indicata si riferisce

Nello specifico la normativa europea in materia definisce che la **capacità nominale** di un accumulatore al piombo è normalmente riferita ad un processo di scarica della durata di **10 ore** che avviene alla temperatura di

25°C e che determina una tensione finale della cella di **1,75V**, il parametro è rappresentato dal simbolo "**C₁₀**".

Ciò significa sostanzialmente che un accumulatore da 12V che ha una capacità nominale $C_{10} = 100 \text{ A/h}$ è in grado di erogare a 25 °C una corrente di 10 Amper per un periodo di 10 ore con una tensione a fine scarica di 10,5V.

Per capire quanto sia importante avere ben chiaro questo concetto basta ad esempio ricordare come la normativa USA preveda che la capacità nominale di un accumulatore al piombo sia riferita ad un processo di scarica in 20 ore (C_{20}) invece che in 10 ore (C_{10}) come per quella europea, ciò significa che una stessa batteria che per la normativa EU ha una capacità $C_{10}=100\text{A/h}$ ha invece per la normativa USA una capacità $C_{20}=119\text{A/h}$.



Questa differenza dipende dal fatto che una stessa batteria ha capacità diversa in funzione dell'intensità della corrente erogata (la capacità nominale diminuisce all'aumentare della corrente).

La riduzione di capacità nominale che si manifesta in conseguenza di un processo di scarica rapida è sostanzialmente riconducibile alla limitata velocità con cui l'elettrolita si diffonde sulla superficie dell'elettrodo ostacolato inoltre della contemporanea formazione, sempre sulla superficie dell'elettrodo stesso, di solfato di piombo come conseguenza del processo di scarica.

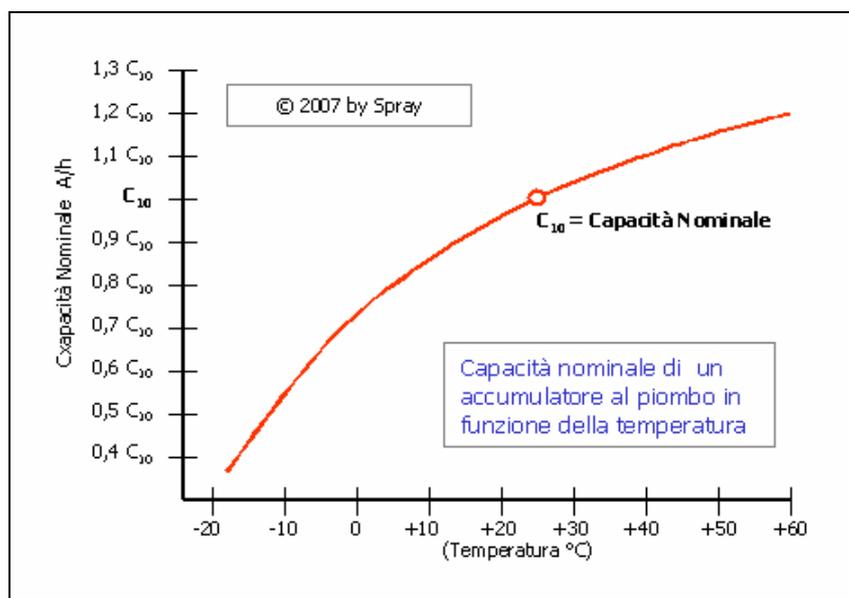
A questo si deve sommare l'effetto dovuto alle perdite causate dalla maggiore dissipazione di energia sulla resistenza interna della batteria stessa in conseguenza dell'elevata corrente di scarica.

Questo fenomeno risulta confermato dal fatto che la tensione ai capi di una batteria che abbia subito una scarica rapida tende nel tempo a risalire se la batteria viene lasciata a riposo in conseguenza della diffusione dell'elettrolita sulla parte più interna dell'elettrodo che come detto è inizialmente ostacolata dalla rapida formazione di solfato di piombo.

E' evidente che questo fenomeno tende ad affliggere maggiormente le batterie con elettrolita al gel dove la "mobilità" ionica risulta meno "fluida" rispetto ad un elettrolita liquido anche se poi questo problema viene mitigato dalle particolari caratteristiche costruttive di una batteria al gel in cui la superficie di contatto con l'elettrolita è generalmente maggiore.

Analogamente alla corrente anche la temperatura di funzionamento di una batteria incide molto sulla sua capacità di erogare energia.

Infatti la capacità nominale di una batteria al piombo diminuisce drasticamente con l'abbassarsi della temperatura, basti pensare che passando da 25°C a 0°C si ha mediamente una riduzione di capacità nominale di quasi il 30%.



Per contro l'aumento di temperatura pur provocando un aumento della capacità nominale della batteria può essere causa di effetti negativi quali l'aumento della corrente di autoscarica, inoltre è bene ricordare che, specialmente nel caso di batterie ermetiche, un aumento della temperatura richiede sempre una diminuzione della corrente di carica.

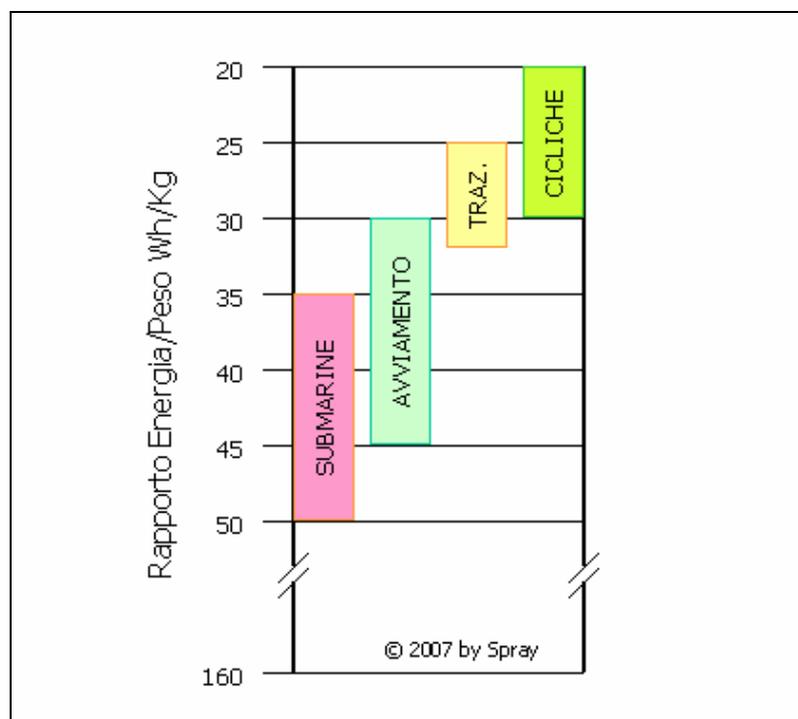
8. Tipologie di Batterie di accumulatori:

In funzione dell'impiego primario a cui una batteria di accumulatori è destinata sono state sviluppate diverse tecnologie costruttive degli accumulatori stessi, di alcune di queste tipologie con le loro caratteristiche principali è già stato fatto cenno precedentemente.

Si riporta di seguito un breve elenco delle principali tipologie con una rapida descrizione:

- **Batterie da avviamento**
- **Batterie da trazione**
- **Batterie cicliche stazionarie**
- **Batterie cicliche portatili**
- **Batterie per impieghi speciali** (aeronautica, sottomarine, ecc.)

Abbiamo già visto precedentemente come la capacità di immagazzinare energia di una batteria sia proporzionale alla quantità di materiale attivo (elettrodi e elettrolita) di cui è composta.



Da un punto di vista elettrochimico ipotizzando un rendimento teorico massimo si può calcolare il rapporto "teorico" tra energia immagazzinabile e peso.

Questo rapporto vale in teoria **160Wh/Kg** per ciascun elemento, in realtà, allo stato attuale dell'arte della in materia di accumulatori al piombo, il valore

di questo rapporto oscilla, in funzione della tecnologia costruttiva e della tipologia di batterie, tra circa **25 e 50 Wh/Kg** per elemento che per una tipica batteria da 12V significa circa 2 – 4 Ah/Kg.

Batterie da avviamento

Sono le comuni batterie di impiego automobilistico (e motociclistico) che hanno in genere capacità comprese tra 10A/H e 100A/h, sono progettate per poter erogare picchi di corrente elevati, dell'ordine di 5-8 C₁₀ per brevi periodi, generalmente poche decine di secondi, quelli necessari all'azionamento del motorino di avviamento .

Le caratteristiche costruttive di questa tipologia di batterie sono già state descritte precedentemente e si riassumono nell'utilizzo di elettrodi sottili e molto porosi (spugnosi) che facilitano la penetrazione dell'elettrolita nel contatto con il materiale attivo, condizione necessaria per garantire l'erogazione di forti correnti.

Questa caratteristica però rende gli elettrodi di questa tipologia di batterie meccanicamente poco resistenti, per migliorare questo aspetto il materiale attivo viene generalmente depositato su una "griglia" di supporto e addizionato con altri materiali quali ad esempio l'antimonio che contribuiscono alla rigidità ma causano un aumento del processo di autoscarica e di produzione di gas.

Il dimensionamento di queste batterie deve tenere conto principalmente del valore di "corrente di scarica rapida" richiesto, prima ancora che della capacità nominale nonché del fatto che queste batterie, a causa del loro impiego, possono trovarsi ad operare in condizioni climatiche difficili (basse temperature) che come visto possono ridurre drasticamente la capacità nominale.

Le batterie da avviamento per come sono progettate e costruite pur essendo in grado di erogare forti correnti non sopportano prolungati processi di scarica che in rapporto alla loro capacità nominale generalmente non devono eccedere il 30-40% pena una drastica riduzione del ciclo di vita della batteria.

Per i motivi già esposti e riconducibili alla mobilità ionica necessaria a garantire forti erogazioni di corrente una batteria da avviamento avrà generalmente un elettrolita di tipo liquido (Wet-cell) sia nella versione tradizionale a vaso aperto che nella versione ermetica (maintenance-free) versione da non confondere con le batterie ermetiche al gel (SVR e AGM) che generalmente non sono impiegate per l'avviamento.

Il rapporto capacità/peso di queste batterie è generalmente abbastanza alto e normalmente compreso tra 30 e 45 Wh/Kg. (2,5 – 3,7 Ah/Kg per una batteria da 12V.).

Batterie per trazione

Si tratta di batterie utilizzate per alimentare veicoli elettrici dove di norma è necessario disporre di batterie in grado di erogare correnti di intensità mediamente elevata ma anche di tollerare ripetuti e profondi cicli di scarica.

La caratteristica di queste batterie è sostanzialmente quella di un impiego ciclico realizzato però con durata dei cicli relativamente breve infatti la normativa prevede che per queste batterie sia considerata una capacità nominale riferita ad un ciclo di 5 ore (C_5) e non di 10 ore come normalmente avviene.

Queste batterie hanno generalmente capacità elevate normalmente comprese tra i 200A/h e gli 800 A/h il loro rapporto capacità/peso è compreso tra 25 e 32 Wh/Kg.

Possono essere indifferentemente realizzate con elettrolita liquido (Wet-cell) o al gel anche se recentemente per motivi di praticità di impiego si preferisce utilizzare la seconda tipologia.

Batterie cicliche

Questa tipologia di batterie, come dice il nome, è destinata ad un uso tipicamente ciclico quale quello richiesto da un impiego come fonte di energia alternativa laddove non sia disponibile o non sia possibile utilizzare la rete elettrica.

In funzione dell'uso che ne viene fatto possono essere classificate in due diverse famiglie

- **Batterie cicliche stazionarie**
- **Batterie cicliche portatili**

La batterie cicliche stazionarie sono generalmente destinate ad impieghi statici in grandi sistemi di backup per impianti di telecomunicazione, centri di calcolo, di automazione e controllo e laddove sia necessario disporre di una grossa sorgente di energia "protetta" da possibili interruzioni.

In questi sistemi sono normalmente impiegati banchi di accumulatori di elevata capacità a cui di norma è richiesto di erogare correnti non troppo elevate (dell'ordine di 0,5-2 C_{10}) rispetto alla loro capacità nominale che è mediamente compresa tra 100A/h e i 3000 A/h.

Per motivi riconducibili oltre che ad un problema logistico (spazi) anche a problematiche legate alle norme di sicurezza, attualmente per questi impieghi sono utilizzate quasi esclusivamente batterie ermetiche al gel (SVR e AGM).

Le batterie cicliche portatili pur avendo una caratteristica di impiego simile in quanto progettate per sopportare un elevato numero di cicli di scarica, anche profonda, hanno generalmente capacità molto minori e trovano il loro principale utilizzo nell'alimentazione di dispositivi portatili (attrezzature, strumenti di misura, elettrotensili, ecc.).

Le capacità sono mediamente comprese tra 1A/h e 20 A/h hanno caratteristiche costruttive tali da non imporre alcun vincolo di posizione per il loro utilizzo in quanto realizzate con elettrolita immobilizzato (al gel) in versione ermetica.

Per le batterie cicliche il rapporto capacità/peso è generalmente sfavorevole ed è mediamente compreso tra 20 e 30 Wh/Kg.

Nella scelta di una batteria ciclica riveste inoltre un fattore importante la valutazione corretta del parametro relativo al "ciclo di vita" (numero di cicli di scarica e ricarica che la batteria può sopportare) che deve essere sempre espresso in riferimento alla percentuale relativa alla profondità di scarica.

Nel confrontare due diverse batterie cicliche è importante quindi verificare che il dato relativo al ciclo di vita sia riferito ad una stessa percentuale di scarica in quanto non è affatto detto che una batteria che dichiari un ciclo di vita pari a 2000 cicli al 50% sia migliore di una che ne dichiari 1000 ma riferiti al 80 % anzi in genere è vero il contrario.

Batterie per impieghi speciali

In fine solo un accenno ad alcune particolari tipologie che esulano dallo scopo di questa trattazione.

Esistono particolari tipologie di batterie destinate ad impieghi particolari quali ad esempio quelle utilizzate sugli aeromobili che nella maggior parte dei casi sono però batterie Ni/Cd anche se su piccoli aeromobili si trovano batterie al piombo, la ovvia principale caratteristica è quella di un elevato rapporto potenza/peso ma anche la caratteristica di poter lavorare in un range molto esteso di temperatura.

Sempre a titolo di esempio le batterie per uso sottomarino hanno come principale caratteristica quella di una elevatissima capacità nominale (sono l'unica fonte di energia in immersione) dell'ordine anche di 15000A/h unitamente ad un peso e una dimensione contenuta.

9. Aspetti pratici

Vediamo adesso di riassumere quali indicazioni pratiche è possibile ricavare dagli elementi teorici e tecnologici finora descritti per l'impiego in ambito nautico di batterie al piombo.

La prima considerazione da fare è relativa alla tipologia di batteria da utilizzare.

L'ideale, anche per motivi di affidabilità e sicurezza, sarebbe quello di disporre di almeno due batterie separate da utilizzare per l'avviamento e per i servizi, come abbiamo visto vi è una significativa diversità nelle caratteristiche costruttive e di funzionamento di queste due tipologie di batterie, tali diversità consiglierebbero di utilizzare per ciascun impiego la tipologia di batteria più idonea anche se in condizioni di emergenza è sempre possibile utilizzare una batteria servizi per l'avviamento e viceversa.

Una seconda considerazione molto importante da fare riguarda invece le modalità di ricarica delle batterie di bordo.

Abbiamo visto che una corretta gestione dei cicli di scarica e di ricarica di una batteria al piombo è determinante sia sulle prestazioni sia e soprattutto sulla durata nel tempo di una batteria.

In particolare abbiamo visto come la profondità di scarica di una batteria (specialmente per le batterie da avviamento) e la permanenza nello stato di scarica anche parziale siano deleteri per la vita della batteria stessa, da ciò se ne deduce che è buona norma procedere sempre alla ricarica delle batterie appena possibile e al loro mantenimento nello stato di carica completa.

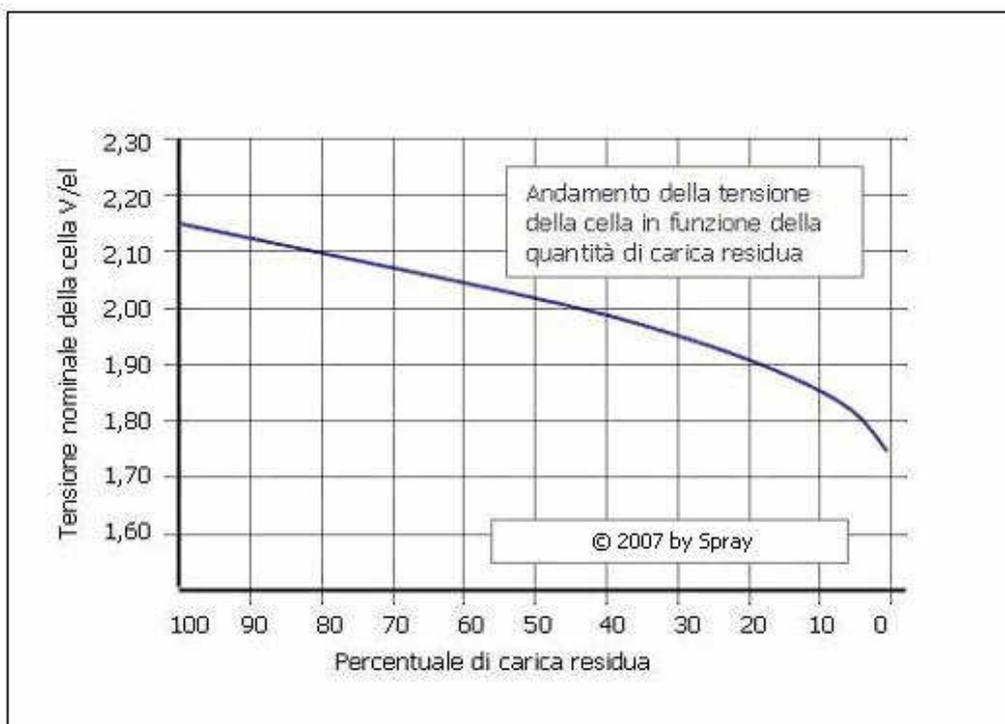
A questo proposito ricordiamo due grandezze molto importanti per una batteria al piombo che sono:

- **Tensione nominale a vuoto = 2,16Volt/elemento**
- **Tensione di scarica completa = 1,75Volt/elemento**

In base a questi valori possiamo quindi dire che una normale batteria al piombo da sei elementi (12Volt) è da considerarsi carica al 100% quando la sua tensione nominale a vuoto è pari a **12,96 Volt** mentre è da considerarsi totalmente scarica quando la tensione ai suoi capi scende a **10,50 Volt** valore che non deve mai essere superato pena il danneggiamento della batteria stessa.

Abbiamo anzi visto come sia opportuno per una buona conservazione della batteria non raggiungere mai la scarica completa.

Sulla base di questo si può quindi affermare con una certa approssimazione che lo stato di carica di una batteria al piombo può essere valutato in funzione della tensione a vuoto della batteria stessa.



Abbiamo però visto che una batteria perfettamente carica anche se lentamente tende a perdere una parte dell'energia immagazzinata per il processo di autoscarica.

Per mantenere quindi sempre costantemente carica una batteria è necessario fornire costantemente alla batteria stessa un quantità minima di energia, questo processo prende il nome di "carica di mantenimento".

Definiamo a questo punto un altro importante parametro:

- **Tensione nominale di mantenimento= 2,21 Volt/elemento**

Questa tensione è la tensione massima che si può applicare ad una batteria perfettamente carica per mantenerla in stato di efficienza senza che vi sia la formazione di gas dannosi e la perdita di acqua dall'elettrolita.

Durante la "carica di mantenimento" la tensione di carica non deve superare quindi il valore di **13,26 Volt** .

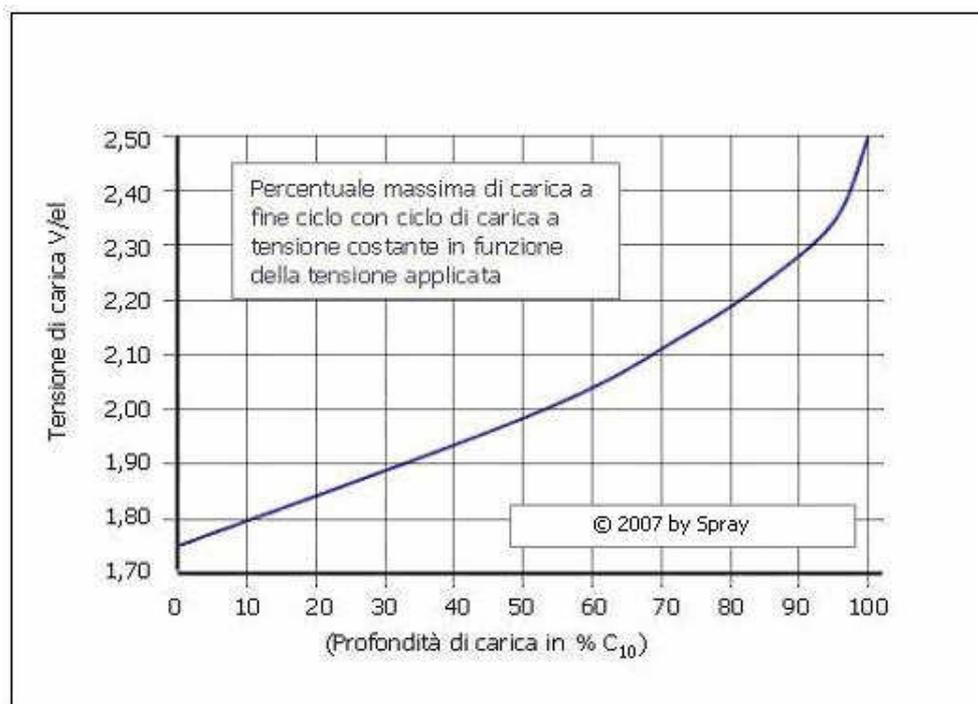
Processo di ricarica

Abbiamo visto da punto di vista elettrochimico come avviene il processo di ricarica di una batteria al piombo e abbiamo visto come questo processo si possa considerare completo quando tutte le molecole del solfato di piombo ($PbSO_4$) formatesi durante la scarica sono state nuovamente scomposte ripristinando l'iniziale concentrazione di acido solforico nell'elettrolita.

Purtroppo in pratica per ottenere una *completa ricarica* è necessario fornire alla batteria una tensione di carica superiore a quella di mantenimento questa tensione è detta:

- **Tensione di assorbimento = 2,4 Volt/elemento**

che per una normale batteria al piombo da sei elementi (12Volt) è pari a **14,40 Volt**. Come abbiamo visto però, una volta raggiunta la carica completa, se continuiamo a fornire una tensione così elevata alla batteria si rischia di danneggiarla rapidamente per cui un corretto sistema di ricarica dovrebbe essere in grado di adattare le tensioni fornite alla batteria in funzione dello stato del processo di ricarica.



Purtroppo normalmente non è così e solo con l'impiego di sofisticati regolatori di carica a più stadi (Next step charger), di cui si accennerà più avanti, è possibile ottenere il corretto processo di carica.

I comuni dispositivi di ricarica (alternatore, caricabatteria, generatori eolici, pannelli solari) se non accoppiati ad un regolatore Next Step sono predisposti per fornire una tensione massima pari alla *tensione di mantenimento*, tensione che se da un lato garantisce di non danneggiare la batteria per eccesso di carica, dall'altro non permette mai di raggiungere la carica completa che nel migliore dei casi arriva, con un lungo periodo di ricarica, ad un 80% della capacità nominale.

Se si considera che è buona norma non raggiungere mai una scarica completa, appare evidente che con un sistema di ricarica tradizionale si potrà ragionevolmente sfruttare non più del 50-60% della capacità nominale dei banchi di batterie disponibili senza considerare che il normale processo di ricarica a tensione costante permette di raggiungere abbastanza rapidamente una ricarica dell'ordine del 50-60% ma che solo dopo molte ore può arrivare al valore massimo del 80% della capacità nominale.

Appare quindi evidente come l'impiego di un regolatore "intelligente" possa ottimizzare significativamente la gestione dell'energia a bordo. Vediamo di capire bene perchè :

Processo di carica tradizionale a tensione costante:

Come abbiamo appena detto un sistema di carica tradizionale è predisposto per effettuare una carica "tensione costante" il cui valore è generalmente quello della tensione di mantenimento (2,21V/el pari a 13,26V).

Per fare un esempio pratico consideriamo di dover ricaricare un banco batterie da 200 Amp/h e di disporre di un alternatore in grado di erogare una corrente massima di 60 Amper (o di un normale caricabatteria di pari caratteristiche).

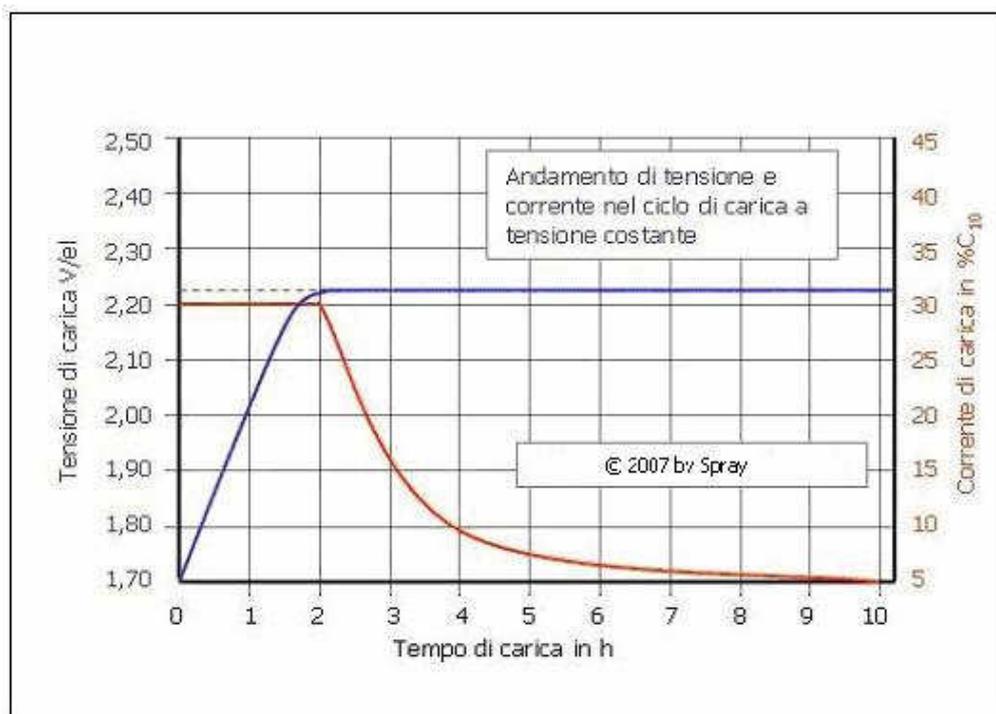
All'inizio della ricarica se la batteria è completamente scarica, la tensione ai capi della batteria sarà minore di quella fornita dall'alternatore e sarà tale da far erogare all'alternatore, per mezzo del suo regolatore interno, la massima corrente (60Amp) che è in grado di fornire.

Man mano che il tempo passa la tensione ai capi della batteria inizierà a salire fino a raggiungere il valore limite previsto dal regolatore (tensione di mantenimento) ciò generalmente avviene quando lo stato di ricarica della batteria è intorno al 50-60% della sua capacità nominale che nel nostro caso avverrà dopo circa 2 ore.

Da questo punto in poi il regolatore dell'alternatore inizierà ad intervenire mantenendo costante la tensione erogata intorno ai 13,3 Volt (2,21 V/el.) e la corrente assorbita dalla batteria inizierà a diminuire fino a raggiungere valori molto bassi quando la carica della batteria avrà raggiunto circa 80% della

capacità nominale, sempre con riferimento all'esempio ciò avverrà dopo circa altre 2-3 ore.

Da questo punto in avanti anche protrando nel tempo il processo di carica la batteria non assorbirà ulteriore carica.

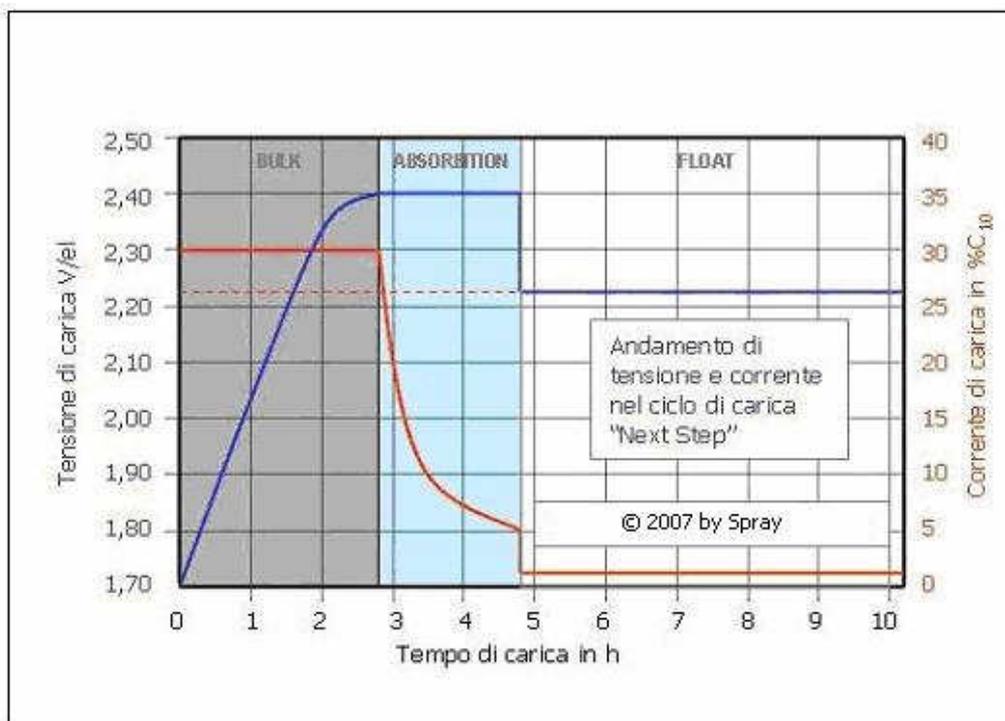


Ovviamente se il regolatore dell'alternatore fosse tarato per erogare una tensione superiore si otterrebbe una maggior percentuale di carica della batteria ma il mantenimento a tempo indefinito di una tensione troppo elevata porterebbe, come si è visto, ad un rapido deterioramento della batteria stessa.

Processo di carica con regolatore Next Step:

Supponiamo adesso di disporre invece di un regolatore Next Step. All'inizio (fase BULK) il funzionamento sarà analogo al caso precedente solo che il regolatore Next Step provvederà a far erogare all'alternatore (o al carica batterie) la corrente massima fino al raggiungimento di una tensione superiore al caso precedente e pari alla *tensione di assorbimento* (2,4 V/el. pari a 14,4 Volt) condizione che corrisponde a circa il 90% della ricarica e ciò avverrà, con riferimento al nostro al nostro esempio, in circa 3 ore, in questa seconda fase (fase ABSORBITION) il regolatore provvederà a mantenere costante la tensione erogata (2,4 V/el. pari a 14,4 Volt) fino a quando la corrente assorbita dalla batteria scenderà fino al di sotto del 20% del valore iniziale raggiungendo in queste condizioni una percentuale di carica del 100% (fase di assorbimento) a questo punto il regolatore passerà alla funzione di mantenimento (fase FLOAT) riducendo la tensione erogata al valore previsto di

13,26 Volt (2,21 V/el.) come *tensione di mantenimento* e mantenendolo indefinitamente.



Il vantaggio ottenuto è significativo perché in un tempo mediamente minore si è potuto ottenere una ricarica completa che permette di disporre di circa il 70-80% della capacità nominale della batteria contro il 50-60% di un sistema tradizionale.

Considerazioni finali

Quanto sopra esposto non vuole dare una risposta esaustiva alla domanda "quale tipologia di batteria è più idonea per l'utilizzo in ambito nautico su una imbarcazione da diporto?" perché le risposte a questa domanda sono molteplici e hanno anche implicazioni diverse dal semplice aspetto tecnico della questione, aspetto che con queste note si è cercato di chiarire così da fornire uno degli elementi necessari ad una corretta valutazione ma che come si è detto non è l'unico.

Bibliografia:

P.Giusti – Chimica per Ingegneria – Ed. Felici Pisa
D. Berndt – Maintenance-free batteries - Researce Studies Press ltd. England
Nigel Calder – Boatowner's mechanical and eletrical manual – Mc Graw-Hill USA