

Indice

Sommario	Pag.. 3
1. Introduzione	Pag.. 3
2. Veicoli elettrici	Pag.. 5
3. Gli accumulatori di tipo elettrochimico	Pag.. 7
3.1 Tipi di Accumulatori	Pag.. 9
3.1.1 Batterie al piombo-acido	Pag.. 9
3.1.2 Batterie al nickel-zinco (Ni-Zn)	Pag. 10
3.1.3 Batterie al Sodio-Nickel-Cloro (Ni-NaCl)	Pag. 11
3.1.4 Batterie al Nickel-Idruri-Metallici (NiMH)	Pag. 12
3.1.5 Batterie al Litio	Pag. 13
3.1.6 Batterie nickel-Cadmio (NiCd)	Pag. 15
3.1.7 Batterie Redox al Vanadio	Pag. 16
3.1.8 Accumulatore Litio-Ferro Fosfato (LiFePO4)	Pag. 17
3.1.9 Pila Zinco Aria	Pag. 18
3.2 Confronto tra le tipologie di batterie	Pag. 19
4. La normativa e la sicurezza	Pag. 20
4.1 Sistemi di ricarica	Pag. 20
4.2 Tipi di collegamento	Pag. 21
4.3 Contatti diretti e indiretti	Pag. 21
4.4 Guasti e sicurezza del veicolo	Pag. 22
4.5 Emissioni gassose delle batterie	Pag. 23
5. La rete e la ricarica dei veicoli elettrici: potenza e distorsioni armoniche	Pag. 24
5.1 Acronimi di uso generico	Pag. 24
5.1.1 Definizioni relative alle grandezze di base inerenti alle armoniche nell'ambito della Compatibilità Elettromagnetica (EMC)	Pag. 25
5.2 Carico rappresentato dal veicolo elettrico	Pag. 25
5.2.1 Energia media giornaliera richiesta per la ricarica di un VE	Pag. 26
5.2.2 Modalità di ricarica del VE considerate nell'analisi	Pag. 27
5.2.3 Potenza nominale del singolo carica batterie	Pag. 27
5.2.4 Emissione armonica del singolo carica batterie	Pag. 28

5.3 Distorsione armonica di tensione sul lato AT delle CP alimentanti i sistemi di distribuzione in aree urbane	Pag. 28
5.4 Metodologia applicata	Pag. 28
5.5 Analisi effettuate e risultati	Pag. 29
5.5.1 Analisi del carico nei trasformatori MT/BT in presenza di VE	Pag. 29
5.5.2 Analisi della distorsione di tensione sulla rete MT e BT	Pag. 31
5.6 Considerazioni finali	Pag. 33
5.6.1 Distorsione armonica totale di tensione	Pag. 33
5.9.2 Aumento del livello di carico sulle reti MT-BT	Pag. 34
6. V2G	Pag. 37
6.1 Prototipo	Pag. 39
6.2 Premessa	Pag. 40
6.3 <i>L'aggregator</i>	Pag. 40
6.4 Batterie	Pag. 42
6.5 Problematiche	Pag. 42
7. Sistemi innovativi riguardanti la ricarica	Pag. 45
7.1 Auto elettrica ricaricabile in Wireless	Pag. 45
7.2 Prese personalizzate	Pag. 45
8. Progetti pilota di diffusione dei Veicoli Elettrici nelle città	Pag. 47
8.1 Sperimentazioni	Pag. 47
8.2 Cabine telefoniche come punti di ricarica per veicoli elettrici	Pag. 48
8.3 Presa universale auto elettrica	Pag. 48
8.4 Enel-Piaggio	Pag. 49
8.5 Stazione di ricarica solare per auto elettriche	Pag. 50
9. Conclusioni	Pag. 51
Bibliografia	Pag. 52

Sommario

L'inquinamento atmosferico dovuto all'utilizzo dei veicoli a combustione interna, l'aumento dei costi del petrolio e anche la sua esauribilità, rendono necessaria la sostituzione dei veicoli tradizionali con auto ad alimentazione elettrica.

In questo studio si affrontano i vari aspetti degli accumulatori necessari ad alimentare le auto elettriche. Si prendono anche in considerazione le problematiche relative al sistema di ricarica, alla normativa e a quello che può essere l'impatto sulla rete elettrica dovuto all'inserimento del carico rappresentato dal veicolo elettrico, e quelle che possono diventare nuove possibilità di utilizzo dei veicoli elettrici. In particolare si illustra il V2G (vehicle-to-grid), un nuovo progetto che permette al veicolo di prelevare e fornire energia elettrica alla rete.

1. Introduzione

L'impiego di veicoli ad alimentazione elettrica in sostituzione di quelli tradizionali, è tuttora oggetto di studi e di ricerche in varie parti del mondo. L'interesse per questa soluzione è legato al costante aumento dell'inquinamento atmosferico dovuto all'utilizzo dei veicoli a combustione interna nonché all'aumento dei costi del petrolio e anche alla sua esauribilità.

In questa tesi si prendono in esame i sistemi di accumulo dell'energia necessari a far funzionare i veicoli elettrici e quali possono essere le loro influenze sulla rete elettrica.

Dopo una breve descrizione dei veicoli elettrici, vengono analizzati i vari tipi di accumulatori utilizzabili, precisando quali siano i loro vantaggi e svantaggi.

Visto poi che questi sistemi di accumulo dovranno essere collegati alla rete elettrica, viene riportata in sintesi la normativa che regola i sistemi di connessione anche dal punto di vista della sicurezza degli utenti e della continuità dell'esercizio.

Quanto all'idoneità della rete elettrica ad alimentare il nuovo insieme di carichi rappresentato dalle batterie di accumulatori durante la fase di ricarica, sia in termini di potenza necessaria sia in termini di distorsioni armoniche, vengono riportati gli esiti di uno studio condotto dal CESI con riferimento alla rete elettrica italiana.

Viene infine descritto il progetto "V2G" (vehicle-to-grid) proposto da un'Università americana per l'interfacciamento del sistema di accumulo a bordo dei veicoli con la rete elettrica. Tale soluzione prevede uno scambio bidirezionale di energia fra i due sistemi e sembra presentare interessanti risvolti anche di carattere economico.

A completamento della tesi vengono illustrati alcuni sistemi di ricarica innovativi (a livello di prototipi o già in fase di prima sperimentazione) e alcuni progetti che mirano a incentivare l'introduzione del veicolo elettrico in alcune città.

2. I veicoli elettrici

Il primo brevetto riguardante i veicoli elettrici è di Thomas Davenport nel 1837. Invece il primo a costruirne un prototipo fu Robert Davidson nel 1839. Anche Thomas Edison realizzò un veicolo elettrico che utilizzava batterie alcaline da lui stesso inventate [1].

Nel 1897 a Londra e a New York fu istituito un servizio di taxi elettrici, e nel 1899 l'auto elettrica *Jamais Contente* superò in pista i 100 km/h [2].



Fig. 2.1 Il *Jamais Contente*

Questo tipo di automezzo quindi non è nuovo ma è sorto insieme al veicolo a combustione interna che però poi ha preso il sopravvento diventando il più usato e praticamente l'unico mezzo di trasporto.

Negli ultimi anni l'inquinamento e il prendere coscienza che il petrolio è una fonte in via di esaurimento, ha fatto sì che il veicolo elettrico tornasse d'attualità. L'auto elettrica infatti è vista come la migliore soluzione a questi problemi.

I veicoli elettrici in verità non sono esenti dal produrre inquinamento: le batterie vanno ricaricate e l'energia necessaria è prodotta da centrali spesso termoelettriche, che bruciano quindi petrolio, gas o carbone. Però bisogna considerare che l'inquinamento in questo modo rimane localizzato in zone non densamente popolate, che le auto ferme in coda non consumano elettricità e quindi non inquinano, che se la corrente è prodotta da centrali a energia rinnovabile (fotovoltaico, eolico) allora questo mezzo diventa a emissioni zero [3].

I veicoli elettrici, inoltre, godono di un'efficienza maggiore che può raggiungere anche il 90%, contro il 25-28% dei mezzi a benzina e il 40% dei diesel [2].

Un loro svantaggio però è quello della durata della batteria e dei tempi di ricarica.

Per far fronte a questi limiti si stanno sviluppando nuovi tipi di batterie più durevoli e con tempi di ricarica più brevi. Attualmente i tipi di ricarica sono i seguenti:

- Ricarica lenta di circa 7-8 ore che è tollerabile anche dalle batterie Piombo-acido

- Ricarica veloce con tempi inferiori all'ora però con il rischio di una maggiore usura della batteria
- Ricarica parziale (biberonaggio) è una ricarica lenta svolta ripetutamente per frazioni del 10-20% con durata di 10-15 minuti
- Sostituzione della batteria, il guidatore si reca in una stazione di servizio dove in pochi minuti la batteria scarica viene sostituita con una carica.

La ricarica della batteria è sicuramente un grosso svantaggio, oggi con le auto a benzina siamo abituati a soste di pochi minuti per il rifornimento. Però le batterie e i sistemi di ricarica hanno anche molte possibilità di innovazione e si spera quindi che presto questo non sarà più un problema.

3. Gli Accumulatori di tipo elettrochimico

Uno dei metodi utilizzabili per accumulare energia è quello che sfrutta la conversione elettrochimica [4].

In pratica esistono dei dispositivi che riescono a convertire l'energia chimica in energia elettrica. Questo si ottiene attraverso delle reazioni chimiche che si sviluppano tra due elettrodi (catodo e anodo). I più comuni di questi dispositivi sono quelli che vengono generalmente chiamati "batterie", termine che comprende le pile, che non sono ricaricabili una volta esaurite, e gli accumulatori che invece quando sono scarichi possono immagazzinare nuovamente dell'energia chimica e quindi essere riutilizzati più volte.

I vari tipi di batterie vengono denominati, a seconda dei materiali che compongono gli elettrodi, così abbiamo le batterie al Piombo, al Nichel-Cadmio, al Litio, ecc.

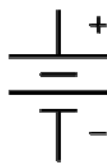


Fig. 3.1 Simbolo elettrico della batteria.

Un accumulatore è composto da :

- Due elettrodi, uno positivo e uno negativo.
- Un elettrolita.
- Collettori di corrente (che servono a convogliare la corrente elettrica da e verso gli elettrodi).
- Separatori (che evitano che i due elettrodi venendo a contatto provochino un cortocircuito).

Un accumulatore è formato da più elementi collegati in serie e la tensione è data anche dal numero di elementi collegati. Ad esempio una batteria da 12 volt è costituita da 6 elementi da 2 volt collegati in serie.

Per valutare un accumulatore elettrochimico occorre prima definire i parametri che servono a descrivere le sue potenzialità [5].

I parametri sono i seguenti:

Capacità (C): Si misura in Ampère-ora (Ah) ed è data dal prodotto dell'intensità della corrente erogata per il tempo necessario perché l'accumulatore si scarichi fornendo continuamente quella data corrente. È una misura della quantità di carica elettrica (1 Ah=3600 coulomb).

Stato di carica (SoC, *state of charge*): è la percentuale di energia residua immagazzinata nelle batterie.

Tasso di scarica (C/x): è la corrente che scarica completamente la batteria in x ore.

Energia specifica: energia che può essere erogata dall'accumulatore per unità di massa (Wh/kg) o per unità di volume (Wh/dm³)

Potenza erogabile: è il prodotto della tensione media di scarica per la corrente. Si misura in watt (W). Si può considerare anche la potenza specifica per unità di massa (W/kg) e per unità di volume (W/dm³).

Rendimento amperometrico: è il rapporto tra il numero di amperora erogati durante la scarica e quelli assorbiti durante la precedente carica.

Rendimento di energia: è il rapporto tra l'energia erogata durante la scarica e l'energia assorbita durante la precedente carica.

Durata di vita: dipende dalle condizioni di funzionamento dell'accumulatore e quindi può essere assegnata solo per determinati regimi di carica e scarica che vanno specificati. In particolare, quando l'accumulatore è soggetto a successivi cicli di carica e scarica si considera la durata di vita ai cicli che indica l'attitudine di un accumulatore a resistere a successivi cicli di carica e scarica .

Tensione di lavoro: è la tensione media presente fra i due terminali positivo e negativo quando l'accumulatore eroga corrente.

Tensione finale della scarica: è la tensione di lavoro alla quale per ragioni tecniche e/o economiche conviene arrestare la scarica.

Effetto memoria: alcuni tipi di batterie ricaricabili, se ripetutamente caricate senza essere prima scaricate completamente, "ricordano" la capacità energetica precedente alla ricarica, se prendiamo ad esempio una batteria completamente carica che utilizziamo al 60% e poi la ricarichiamo, avviene che il 40% dell'energia somministrata risulta inutilizzabile. Le batterie al Nickel-Cadmio e, in misura minore quelle al Nickel-idruro metallico (NiMH), sono quelle che presentano maggiormente questo difetto. Nelle batterie al Nickel-Cadmio il fenomeno è dovuto al fatto che aumentano le dimensioni dei cristalli di Cadmio, ciò causa una diminuzione della superficie interessata dalle reazioni elettrochimiche. Nel caso poi che i cristalli crescessero tanto da penetrare il separatore e cortocircuitare i due elettrodi, la batteria diventerebbe inutilizzabile.

L'effetto della crescita delle dimensioni dei cristalli è maggiore se la batteria viene lasciata sotto carica per giorni, o non viene scaricata completamente.

Per evitare che ciò accada bisogna allora ciclare (caricare e scaricare) completamente la batteria almeno una volta ogni due o tre settimane.

Le batterie al Litio non presentano questo problema in quanto le dimensioni dei grani o della struttura cristallina dei materiali elettrodici, non subiscono alcuna modifica.

3.1 Tipi di Accumulatori

Analizziamo adesso vari tipi di accumulatori, da quelli più utilizzati e di già provata affidabilità a quelli più innovativi che, essendo ancora sotto studio, non sono molto diffusi ma, presentando ampi margini di miglioramento, nel futuro più prossimo saranno largamente usati per le loro caratteristiche e possibilità di impiego.

3.1.1 Batterie al Piombo-acido

Il primo accumulatore ad essere inventato è stato quello al Piombo-acido.

Infatti il primo prototipo risale al 1859 ad opera di Gaston Plantè ed è ancora oggi il più usato nonostante presenti molti limiti.

Questo tipo di accumulatore è formato da un anodo composto da polvere di piombo spugnosa e da un catodo di diossido di piombo (PbO_2), questi elettrodi poi sono immersi in una soluzione acquosa al 20% di acido solforico (H_2SO_4).

Questa batteria è quella già usata nei veicoli a combustibile per alimentare i carichi ausiliari (illuminazione interna, antifurto, autoradio, ecc) e per l'avviamento.

Nei veicoli elettrici si usano altre due varianti di questo tipo di accumulatori:

- le batterie ventilate
- le batterie VRLA (valve-regulated lead-acid)

Le batterie ventilate sono sistemi aperti con l'elettrolita in forma liquida. Hanno una durata di vita anche fino a 1500 cicli. Questo però è un limite massimo che si riesce a raggiungere solo con una accurata manutenzione delle batterie. La manutenzione, che deve essere fatta spesso e in maniera approfondita e la necessità di un regolare rabbocco d'acqua, fa sì che tali batterie non siano adatte ad essere utilizzate da tutti, ma, almeno per quel che riguarda il trasporto, sono impiegate solo da mezzi pesanti come ad esempio gli autobus.

Nelle VRLA l'elettrolita è contenuto in un gel o in un foglio di fibra di vetro. A differenza delle batterie ventilate non vi è bisogno di manutenzione, né di un regolare rabbocco d'acqua, infatti la presenza di ricombinazioni di idrogeno/ossigeno fa sì che non ci sia consumo di acqua. Le batterie VRLA sono dette "batterie sigillate" anche se nella realtà non sono ermeticamente chiuse.

Esse infatti sono dotate di una valvola di sicurezza che, nel caso di sovrappressione interna, interviene aprendosi, mettendo così in sicurezza la batteria stessa. Svantaggi di questo tipo di batteria, variante dell'accumulatore piombo-acido, sono: il costo più elevato rispetto alle batterie

ventilate e il ciclo di vita che risulta essere più breve (600-800 sono i cicli previsti, ma diventano 400-500 nell'utilizzo quotidiano). Esse inoltre sono fortemente sensibili alle elevate correnti di scarica e possono essere utilizzate solo con l'impiego di un caricabatterie appositamente progettato. Negli anni però sono state progettate nuove tipologie di batterie VRLA combinando così elevate correnti di scarica con un modesto numero di cicli di vita, ottenendo conseguentemente un buon rapporto qualità-prezzo e una valida soluzione per la propulsione dei veicoli elettrici.

Si possono così riassumere i vantaggi e gli svantaggi relativi alle batterie Piombo-acido:.

Vantaggi:

- Costo ridotto (116-151 €/kWh)
- Principio semplice
- La tensione è direttamente proporzionale allo stato di carica
- “Rigenerazione” tramite acqua distillata
- Possibilità di ricarica parziale (il cosiddetto “biberonaggio”) con batterie al Pb ricombinato

Svantaggi:

- Densità energetica ridotta (35 Wh/kg)
- Peso elevato
- Scariche totali possono significare la morte della batteria, è infatti necessario mantenere sempre una carica minima non inferiore al 20 o 30%
- Sensibile ad escursioni termiche
- Carica rapida esclusa
- Contiene piombo (smaltimento problematico)

3.1.2 Batterie al Nickel-Zinco (Ni-Zn)

In questo tipo di batterie l'elettrodo positivo è formato da ossido di Nickel, mentre l'elettrodo negativo è a base di Zinco.

La reazione chimica che avviene è [5]:



Hanno un elevato valore della tensione di cella (1,6 V) e di conseguenza hanno un'energia specifica del 25% più elevata rispetto alle batterie Nickel-Cadmio. L'erogazione di energia elevata e il loro peso ridotto le renderebbe assai adatte all'utilizzo su veicoli elettrici. Purtroppo quando vengono

ricaricate si ha la produzione di dendriti di Zinco all'elettrodo negativo con conseguente perforazione prima dell'elettrodo e poi della cella; hanno quindi una durata di vita troppo breve per essere utilizzate ampiamente a livello commerciale.

Vantaggi:

- Alta densità energetica
- Potenza elevata
- Nessun effetto memoria
- Fase iniziale di ricarica elevata (raggiunge il 60% di carica in 1 ora)
- Materiali non tossici
- Peso ridotto

Svantaggi:

- Cicli di carica ridotti
- Fase di rodaggio vitale

3.1.3 Batterie al Sodio-Nickel-Cloro (Ni-NaCl)

Questo tipo di batterie vengono anche denominate con l'acronimo di Z.E.B.R.A. (Zero Emission Battery Research Activity).

Sono composte da celle che contengono Sodio-Nickel-Cloruro e sono racchiuse in contenitori termici poiché per funzionare hanno bisogno di una temperatura di circa 260°C. Questo è sicuramente un grave svantaggio in quanto oltre alla difficoltà di mantenere una tale temperatura, se la batteria rimane inutilizzata per più di 24 ore per farla funzionare nuovamente occorre fornirle un ulteriore riscaldamento impiegando 100 W di potenza per batteria. Questo difetto le rende più adatte all'utilizzo in veicoli elettrici che funzionino in maniera continuativa durante la giornata come ad esempio gli autobus.

Vantaggi:

- Particolarmente efficienti
- Buone prestazioni (oltre 1000 cicli di carica/scarica e ottimo rapporto peso/potenza)
- Materiali non tossici

Svantaggi

- Richiede una temperatura d'esercizio di ca. 260°C
- Si scarica totalmente nel giro di 5-8 giorni (consumo energetico per mantenere la temperatura)

3.1.4 Batterie al Nickel-Idruri-Metallici (NiMH)

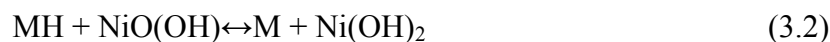
Queste batterie sono l'evoluzione di quelle al Nickel-Cadmio, e rispetto a queste hanno due effetti positivi:

- non contengono Cadmio, materiale pericoloso a livello ambientale
- hanno una densità energetica superiore del 30-40%.

Il polo negativo è costituito da una lega metallica formata da Nickel e Terre rare, capace di immagazzinare e poi rilasciare idrogeno.

L'elettrolita è una soluzione diluita di idrossido di potassio, mentre il separatore è costituito da un sottile film a base di nylon.

La reazione che avviene è:



Vantaggi:

- Poco soggetta a effetto memoria (possibilità di biberonaggio e quindi di accumulo di energia prodotta ad esempio in fase di decelerazione e frenata)
- Alta densità energetica (energia per unità di massa)
- Ecologicamente accettabile
- Poco sensibile a scariche totali
- Tensione costante per tempi prolungati; nella fase finale però ha una drastica caduta di tensione

Svantaggi:

- Costo relativamente elevato (559-666 €/kWh)
- Tende a scaricarsi anche se non è utilizzata
- Molto sensibile a temperature basse
- Necessita di un alimentatore particolare per la carica

Riguardo alla sua elevata autoscarica, però, sono state sviluppate dal 2006, batterie che hanno un'autoscarica del 10% dopo 6 mesi e del 15% dopo un anno.

3.1.5 Batterie al Litio

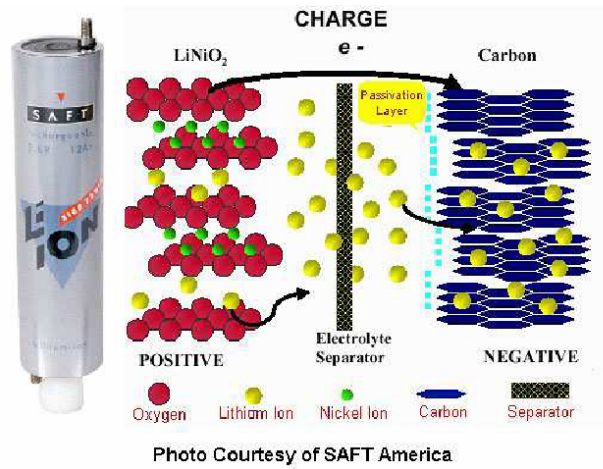


Fig. 3.2. Schema di funzionamento di una cella agli ioni di Litio

Di questo tipo di batterie ci sono due tecnologie:

- Batterie agli ioni di Litio
- Batterie Litio-polimero

Batterie agli ioni di Litio (Li-ion)

Tab. 3.1 Specifiche sugli accumulatori ioni-Litio [6]

Specifiche accumulatore	
Energia/peso	160 Wh/kg
Energia/volume	270 Wh/L
Potenza/peso	1800 W/kg
Efficienza di carica/scarica	99,9%
Energia/prezzo	2,8-5 Wh/US\$
Velocità autoscarica	5%-10%/mese
Tempo di vita	(24-36) mesi
Cicli vita	1200 cicli
Tensione nominale cella	3,6 / 3,7 V

Le prime batterie al Litio furono fabbricate da Gilbert N. Lewis nel 1912. Le prime pile non ricaricabili furono create nei primi anni settanta. Invece la prima batteria ricaricabile agli ioni di Litio che dimostrasse affidabilità e sicurezza tale da poter essere messa sul mercato fu realizzata dalla Sony nel 1991.

Questo tipo di accumulatore è ampiamente usato nell'elettronica di consumo. Ha la proprietà di essere costruito in varie forme e dimensioni tali da adattarsi a tutti gli spazi e di essere particolarmente leggero, rispetto ad altre batterie, ciò lo rende attualmente uno dei tipi più diffusi di batteria per telefono cellulare, computer portatili, ecc.

L'anodo di una batteria Li-ion è composto da Carbonio, il catodo, invece, è costituito da una lega metallica di ossido di Litio. L'elettrolita è un sale di Litio in solvente organico.

La reazione chimica che avviene nella batteria è [6]:



Queste batterie presentano un problema di sicurezza. Infatti con una ricarica irregolare si potrebbe produrre del metallo di Litio, molto reattivo, che può causare esplosioni. Per evitare ciò nella batteria vengono messi dei dispositivi elettronici di protezione o dei fusibili che impediscano l'inversione di polarità, i sovraccarichi di tensione e il surriscaldamento.

Batterie Litio polimero

Inventata dai sovietici durante la guerra fredda, questa tecnologia fu resa pubblica solo dopo la caduta del muro di Berlino e cominciò ad avere uno sviluppo commerciale a partire dal 1996.

Tab. 3.2 Specifiche sugli accumulatori Litio-polimero [7]

Tensione nominale cella	3,7 V
Energia/peso	130-200 Wh/kg
Energia/volume	300 Wh/L
Potenza/peso	fino a 2800 W/kg
Efficienza di carica/scarica	99,8%
Energia/prezzo	2,8-5 Wh/US\$
Velocità autoscarica	5% al mese
Tempo di vita	24-36 mesi
Cicli vita	>1000 cicli

Questo tipo di batteria è uno sviluppo tecnologico dell'accumulatore Litio-ione.

La differenza tra i due tipi di batteria è che il solvente organico, presente nell'elettrolita del Litio-ione, è sostituito da un polimero solido, che può essere il poliacrilonitrile.

Questa evoluzione tecnologica rende le batterie più sicure in quanto il polimero, a differenza del solvente organico, non è infiammabile e quindi gli accumulatori di questo tipo sono meno pericolosi se vengono danneggiati.

Un'altra caratteristica vantaggiosa è che le celle polimeriche sono strutturate in fogli flessibili, anche pieghevoli. I "fogli" di elettrodo e i "fogli" del separatore sono avvolti l'uno con l'altro, rendendo inutile un contenitore rigido. Le batterie risultano, perciò, più leggere e sagomabili.

Le caratteristiche delle batterie al Litio possono essere così riassunte:

Vantaggi:

- Alta densità energetica (energia per unità di massa: 200 Wh/kg)
- Peso ridotto
- Molto longeve
- Tempi di ricarica totale brevi
- Non sensibile ad escursioni termiche
- Materiali non tossici
- Possibilità di ricariche parziali (biberonaggio)

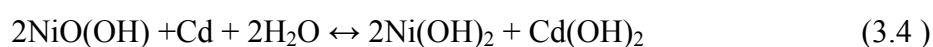
Svantaggi:

- Costo elevato (860 €/kWh)
- Necessità di un alimentatore particolare per la carica
- Possibili danni alla batteria in seguito a scariche totali

3.1.6 Batterie Nickel-Cadmio (NiCd)

Fu inventata da Aldemar Jungner nel 1899. il concetto si basava sul prototipo di pila costruita da Thomas Edison, con la variante di avere il Cadmio al posto del Ferro.

La reazione chimica è:



La sua struttura è data da:

- un elettrodo positivo di idrossido di Nickel
- un elettrodo negativo di idrossido di Cadmio
- l'elettrolita è una soluzione alcalina di idrossido di potassio con un'aggiunta di idrossido di Litio
- un separatore

Vantaggi:

- Rapporto costo/prestazioni a livello competitivo
- Non sensibile a scariche totali
- Resiste fino a 1000 cicli di carica
- Tensione costante per tempi prolungati; nella fase finale però ha una drastica caduta di tensione

Svantaggi:

- Effetto memoria (cicli di ricarica incompleti influenzano negativamente l'efficienza della batteria)
- Scarica totale prima di ogni ricarica
- Molto sensibile a temperature basse (da evitare temperature inferiori a 5°C)
- Tende a scaricarsi anche se non utilizzata
- Contiene Cadmio (smaltimento problematico)

3.1.7 Batterie Redox al Vanadio

Fu brevettata dall'Università del nuovo Galles del Sud (Australia) nel 1986 [8].



Fig. 3.3 Schema di una batteria a flusso al Vanadio

Questo tipo di accumulatore si basa sulla proprietà del Vanadio di esistere in soluzione in quattro stati di ossidazione diversi, così si può realizzare una batteria con un solo elemento elettroattivo anziché due.

Vantaggi [9]:

- Numero indefinito di cicli di carica/scarica della batteria
- Efficienza elevata (maggiore dell'85% della efficienza totale)
- Carica facile e veloce della batteria mediante semplice sostituzione dell'elettrolita
- Vita praticamente illimitata (maggiore di 20 anni)
- Manutenzione praticamente inesistente
- Facilità di monitoraggio dello stato di carica delle celle
- Costo per kWh in diminuzione all'aumentare della capacità di stoccaggio
- Miglioramento, sotto il profilo costi/kWh, dei costi di manutenzione, di durata nei confronti della tradizionale batteria al Piombo

Svantaggi:

- Rapporto energia/volume relativamente basso
- Sistema di complessità maggiore dei classici accumulatori

3.1.8 Accumulatore Litio-Ferro Fosfato (LiFePO₄)

È stato scoperto nel 1996 all'Università del Texas.

Tab. 3.3 Specifiche sugli accumulatori Litio-Ferro-Fosfato [10]

Specifiche accumulatore	
Energia/peso	90-110 Wh/kg
Energia/volume	220 Wh/L
Potenza/peso	>3000 W/Kg
Energia/prezzo	\$0.40 - \$2.00 US\$/Wh
Tempo di vita	>10 anni
Cicli vita	2000
Tensione nominale cella	3.3 V

È una batteria agli ioni di Litio ma il catodo è costituito da Litio-Ferro-Fosfato.

Rispetto ad una normale batteria agli ioni di Litio, presenta i seguenti vantaggi:

- una maggiore resistenza termica
- una maggiore resistenza all'invecchiamento
- una più alta corrente di picco
- utilizza il ferro che ha un minore impatto ambientale rispetto al Cobalto

Attualmente questi accumulatori sono utilizzati per automobili ibride.

3.1.9 Pila Zinco Aria [11]

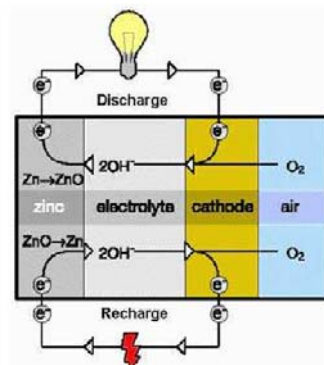


Fig. 3 4 Schema di funzionamento della batteria Metallo-Aria

Impiega l'Ossigeno atmosferico come elettrodo che riceve elettroni e lo Zinco come elettrodo che perde elettroni. Questo movimento di elettroni genera una differenza di potenziale e quindi una tensione elettrica.

Queste batterie appartengono alla categoria delle celle a combustibile dove lo Zinco è il combustibile e l'Ossigeno è il comburente. Quando le superfici degli elettrodi di zinco metallico si sono ossidate diventando ossido di zinco, la batteria può considerarsi scarica.

Per essere ricaricata deve subire un processo elettrochimico realizzabile soltanto in strutture appropriate.

Vantaggi:

- Non c'è effetto memoria
- Durano di più e sono più sicure degli accumulatori Litio-Ione
- Non hanno metalli pesanti da smaltire
- Non si incendiano in nessuna condizione

Svantaggi:

- Risentono delle basse temperature, dell'umidità e dell'inquinamento
- Non sono ricaricabili a casa

3.2 Confronto tra le tipologie di batterie:

Nella tabella 3.4 si propone un riassunto delle caratteristiche delle batterie più diffuse.

Occorre evidenziare che i parametri descritti dipendono dal modo d'uso della batteria. Per esempio:

- il numero di cicli di vita di una batteria dipende dal livello di scarica
- il numero di cicli di vita di una batteria su strada è minore di quelli ottenuti in laboratorio, dove i test sono condotti con più omogeneità rispetto a quello che può essere l'uso reale.
- le celle che compongono la batteria possono avere delle differenze, quindi la batteria può avere delle caratteristiche diverse da quelle della cella.
- la temperatura influenza in maniera fondamentale le caratteristiche della batteria. In tabella sono inserite le temperatura che ne ottimizzano il funzionamento.

Tab. 3.4 Caratteristiche tecniche delle batterie impiegate nella propulsione dei veicoli elettrici

Tecnologia	Energia Specifica (Wh/kg)	Potenza Specifica (W/kg)	Vita (cicli)	Intervallo della temperatura ottimale (°C)	Efficienza (Wh)	Autoscarica	Manutenzione	BMS
Pb-acido (VRLA)	40	250	500	20-40	80-85%	Bassa	No	Consigliabile
NiCd	60	200	1350	0-40	70-75%	Bassa	Sì	Consigliabile
NiMH	70	350	1350	0-40	70%	Alta	No	Consigliabile
NiZn	75	200	n.a	0-40	70%	n.a	No	Consigliabile
NaNiCl	125	200	1000	≥260	90-95%	Alta	No	Necessaria
Litio	150	400	1000	0-40	90%	Bassa	No	Essenziale

4. La normativa e la sicurezza

Affinché il veicolo elettrico diventi competitivo e riesca a sostituire le vecchie automobili non basta pensare alle prestazioni del veicolo in sé (velocità, affidabilità, autonomia), ma è indispensabile costituire anche una rete di distribuzione adeguata simile a quella dei distributori di benzina oggi presente, che garantisca un sistema di ricarica efficiente, sicuro e facilmente reperibile. Occorre tenere presente che questo passaggio dalle auto a combustibile alle auto elettriche riguarderà un'ampia parte della popolazione, che si troverà ad utilizzare mezzi nuovi e potenzialmente pericolosi.

È necessario quindi studiare attentamente i vari aspetti riguardanti la sicurezza e l'unificazione dei sistemi di ricarica. Occorre perciò una normativa precisa, sia per quel che riguarda la costruzione dei veicoli, sia per quanto riguarda la sicurezza, poiché questi automezzi verranno usati da persone comuni che probabilmente non avranno una preparazione tecnica adeguata [12].

4.1 Sistemi di ricarica

Nella norma CLC CEI ENV 50275-1 vengono definiti i quattro seguenti modi di ricarica (qui non si riporta letteralmente la definizione presente nella norma):

- **Modo 1 di ricarica**

Il collegamento del veicolo elettrico alla rete avviene per mezzo di prese e spine, monofasi o trifasi, già standardizzate per altri usi ed utilizzando i conduttori di fase, il neutro ed il conduttore di protezione

- **Modo 2 di ricarica**

Il collegamento del veicolo elettrico alla rete avviene per mezzo di prese e spine, monofasi o trifasi, già standardizzate per altri usi ed utilizzando i conduttori di fase, il neutro ed il conduttore di protezione. In più ora ci sono delle funzioni aggiuntive, alcune obbligatorie ed altre facoltative

- **Modo 3 di ricarica**

È simile al modo 2 di ricarica ma in questo caso si adoperano organi di connessione ed apparecchiature di alimentazione dedicate (è questo il caso delle stazioni di ricarica)

- **Modo 4 di ricarica**

È il modo di ricarica che si realizza nel caso di carica batteria a terra.

Questo modo di ricarica è in pratica dedicato alla ricarica rapida.

I tipi di ricarica 2, 3, 4 devono avere delle funzioni aggiuntive ad esempio la verifica dell'integrità del conduttore di protezione. Per quanto riguarda il modo 4 ci deve essere anche la comunicazione fra terra (carica batterie) e bordo (veicolo) tale da permettere al carica batterie il riconoscimento della batteria: tensione nominale, tipo di batteria (Piombo, Nichel, Litio, ecc...) in modo da operare secondo la giusta procedura di ricarica. Tutto questo serve per la ricarica rapida, ad alta potenza e a costo elevato, per i diversi tipi di veicoli.

4.2 Tipi di collegamento.

Estremamente importante è la questione del collegamento del veicolo alla rete in fase di ricarica.

Questo può avvenire attraverso un cavo flessibile che può essere:

- Fissato al veicolo e va collegato alla rete attraverso connettori (tipo A)
- Fissato alla rete e va collegato al veicolo attraverso connettori (tipo B)
- Va collegato sia al veicolo sia alla rete attraverso connettori (tipo C)

Questo argomento va affrontato in maniera molto approfondita e si deve arrivare ad un'unificazione dei collegamenti affinché venga utilizzato un unico sistema di interconnessione. Altrimenti si costringerebbero i guidatori a recarsi in determinate stazioni di ricarica e non in altre. Sarebbe come se oggi una persona non potesse fare il pieno di benzina ovunque ma solo in precise stazioni di servizio. Ciò renderebbe il veicolo elettrico assai scomodo e poco utilizzato.

4.3 Contatti diretti e indiretti

Bisogna distinguere tra “contatti diretti” e “contatti indiretti”

I primi riguardano parti che sono sempre in tensione, i secondi invece riguardano quelle parti che non dovrebbero essere in tensione a meno che non si verifichino dei guasti, ad esempio nell'isolamento.

Per evitare i primi occorre rendere inaccessibili le parti attive richiudendole in involucri o rendendole raggiungibili solo in maniera volontaria.

Per i contatti indiretti occorre invece considerare la configurazione circuitale del sistema.

Per i sistemi a bassa tensione si definiscono tre configurazioni TN, TT, IT. La prima lettera è riferita allo stato del collegamento a terra lato alimentazione mentre la seconda è riferita al lato utilizzatori.

Generalmente in Italia si ha a che fare con sistemi TT e sarà ad essi che ci si riferirà in particolare.

In tali sistemi la principale strategia di protezione dai contatti indiretti consiste nella messa a terra

delle masse degli utilizzatori e nel coordinamento di tale messa a terra con un dispositivo di interruzione automatica. Con la dizione “messa a terra” si intende il collegamento della massa dell'utilizzatore all'impianto di terra locale per mezzo di un cavo che è chiamato conduttore di protezione.

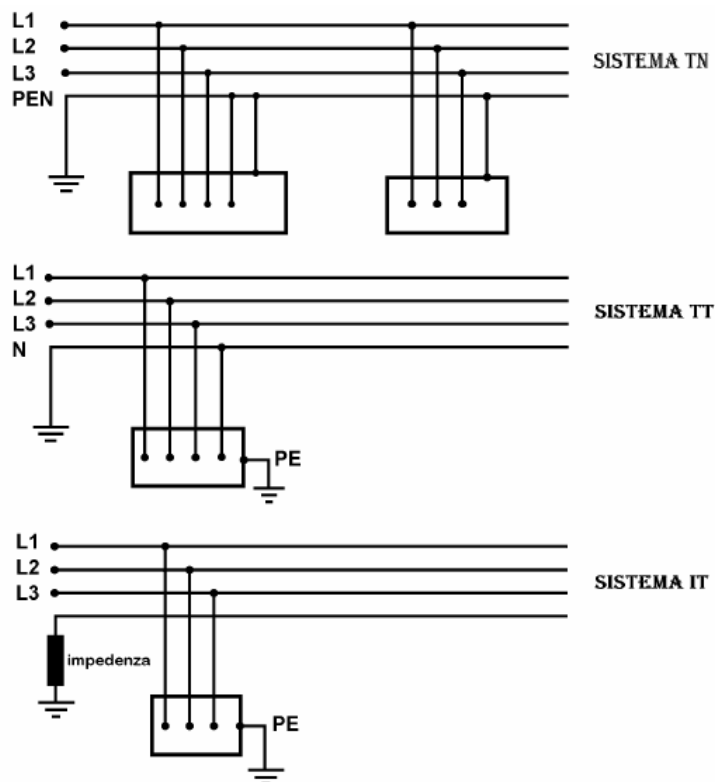


Fig. 4.1 Sistemi TN, TT e IT

Occorre quindi rendere obbligatorio il controllo dell'integrità del conduttore. Nei normali elettrodomestici il cavo di protezione (presente nel cavo flessibile) è abbastanza al sicuro e poco maneggiato. Invece per i veicoli elettrici il cavo di connessione può essere piegato, tirato, schiacciato e anche trovarsi in ambienti umidi o addirittura bagnati quindi servono delle norme e dei sistemi che ne garantiscano e ne controllino l'integrità. Generalmente si utilizzano sistemi di controllo di tipo elettronico.

4.4 Guasti e sicurezza del veicolo

Un'altra caratteristica che differenzia il veicolo elettrico dagli apparecchi elettrodomestici è che possiede una batteria che, per le sue caratteristiche chimico-fisiche, può essere fonte di pericolo. Infatti la batteria può essere danneggiata da urti in seguito a incidenti stradali o emettere sostanze gassose pericolose.

Altri aspetti che bisogna considerare per la sicurezza sono l'eventuale imperizia e le disattenzioni del proprietario del veicolo elettrico. Ad esempio: se il guidatore dopo aver ricaricato la batteria parte senza staccare il cavo di alimentazione si avrà la rottura del collegamento con la possibilità di rendere accessibili parti in tensione. Per evitare ciò si deve dotare il sistema di interblocchi elettrici o di altro tipo.

Ugualmente, il proprietario dell'automezzo può incorrere in gravi pericoli venendo in contatto con parti in tensione magari reclinando lo schienale o rimuovendo qualcosa anche senza l'aiuto di un attrezzo. Queste situazioni potenzialmente pericolose vanno evitate rendendo inaccessibili le parti che possono andare in tensione o prevedendo l'installazione di sistemi di sicurezza che intervengano escludendo l'alimentazione da rete qualora si verificassero incidenti o guasti.

4.5 Emissioni gassose delle batterie

Se consideriamo le batterie al Piombo, che sono le più diffuse, notiamo che quando vengono ricaricate emettono gas, essenzialmente Idrogeno ed Ossigeno, queste emissioni aumentano man mano che ci si avvicina alla carica totale e continuano per un certo tempo anche dopo la fine della ricarica.

Per evitare situazioni assai pericolose (potrebbero avvenire anche esplosioni a causa della concentrazione dell'idrogeno), occorre avere degli ambienti ampi e ventilati in cui possono essere ricaricati gli accumulatori senza che la concentrazione di gas nocivi possa arrivare a costituire una situazione di pericolo.

Anche se oggi esistono batterie al Piombo ermetiche, regolate con valvole di sicurezza, che non emettono gas o ne emettono in quantità ridotta, occorre ugualmente considerare in fase di progettazione e di normativa la possibilità che si verifichino situazioni potenzialmente pericolose.

Il veicolo elettrico è quindi uno strumento che per essere competitivo deve dimostrare di avere delle caratteristiche precise: la sicurezza e i sistemi di ricarica sono le prime di cui tener conto. Quindi ancor prima di una loro ampia diffusione occorre prevedere tutte le situazioni che potrebbero essere rischiose. Attraverso una precisa normativa e una progettazione accurata sotto tutti gli aspetti (dalle caratteristiche del veicolo in sé, ai sistemi di ricarica con la connessione alla rete) sicuramente il veicolo elettrico potrà sostituire velocemente e in maniera soddisfacente le vecchie automobili a combustibile.

5. La rete e la ricarica dei veicoli elettrici: potenza e distorsioni armoniche

Nell'immediato futuro il veicolo elettrico avrà sicuramente un'ampia diffusione, ciò è dovuto al fatto che i veicoli elettrici hanno zero emissioni sul luogo di utilizzo. La loro diffusione però è un serio problema da prendere in considerazione in quanto nella fase di ricarica il loro collegamento alla rete farà sì che ci sarà un aumento sensibile della potenza richiesta e un numero così grande di carichi collegati potrebbe produrre delle distorsioni alla forma d'onda della rete con tutte le conseguenze del caso.

Uno studio del CESI [13] ha analizzato questi problemi.

Si è considerata un'area urbana residenziale in quanto questo tipo di zone saranno le più interessate dall'introduzione dei veicoli elettrici, e in più in questi centri urbani sono già presenti molti carichi con capacità distorcenti (TV, PC, ecc).

Si sono considerate quindi solo le linee a MT-BT.

In più si sono presi a riferimento i vari momenti di carica, se diurni o notturni, e i tempi di ricarica, se di 15, 30, 45 minuti.

Dallo studio è emerso che la rete elettrica è in grado di fornire la potenza necessaria a sostenere il carico dei veicoli e il problema delle armoniche è superabile attraverso una buona normativa che definisca le caratteristiche dei caricabatterie.

5.1 Acronimi di uso generico

- Acronimi relativi ai livelli di tensione

V_N : Tensione nominale della rete elettrica di distribuzione

S_N : Potenza apparente nominale del trasformatore

BT: Bassa Tensione (si assume $V_N = 400$ V; per la Normativa $V_N \leq 1$ kV)

MT: Media Tensione (si assume $V_N = 20$ kV; per la normativa 1 kV $< V_N \leq 35$ kV)

AT: Alta Tensione (si assume 150 kV; per la normativa 35 kV $< V_N \leq 230$ kV).

- Altri acronimi

VE: Veicolo Elettrico

CP: Cabina Primaria ove insiste la trasformazione AT/MT

FU: Fattore di utilizzazione del trasformatore alla punta; esso è dato dal rapporto fra potenza apparente alla punta nel trasformatore e la sua potenza nominale.

5.1.1 Definizioni relative alle grandezze di base inerenti alle armoniche nell'ambito della Compatibilità Elettromagnetica (EMC)

VIHD: Componente individuale di distorsione armonica della tensione relativa a qualunque generico ordine armonico h compreso fra 2 e 40 (sinteticamente indicata anche con V_h).

VTHD: Distorsione totale della tensione, è data dalla seguente espressione:

$$VTHD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (V_h)^2} \quad (5.1)$$

IIHD: Componente individuale di distorsione armonica della corrente relativa a qualunque generico ordine armonico h compreso fra 2 e 40 (sinteticamente indicata anche con I_h).

ITHD: Distorsione totale della corrente, è data dalla seguente espressione:

$$ITHD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (I_h)^2} \quad (5.2)$$

5.2 Carico rappresentato dal veicolo elettrico

Si assume che il carico del VE sia alimentato dalla rete di distribuzione BT del sistema urbano residenziale.

Si deve definire adesso il numero medio totale di VE alimentati da un sistema BT. Questo numero è ottenuto sulla base di informazioni inerenti al numero medio di utenti alimentati dal sistema di distribuzione BT, al numero medio di persone per nucleo familiare, all'indice di motorizzazione e al grado di penetrazione assunto per il VE.

Numero di households (utenti) per modulo di BT: nel sistema urbano residenziale preso in considerazione può essere assunto pari a 150, valore ottenuto da [14] e informazioni ENEL date in [15]

Numero di persone per household

Si considera come esempio la provincia di Milano; relativamente alla consistenza del nucleo familiare si dispone dei seguenti dati, anno 2000, tratti da [16]:

- numero di abitanti: 3.773.893
- numero di households: 1.632.828.

Da cui il numero medio di persone per household risulta:

$$3.773.893 / 1.632.828 = 2,311 \text{ persone per household.}$$

Indice di motorizzazione

Con riferimento a una realtà territoriale come la provincia di Milano relativamente all'indice di motorizzazione si dispone dei seguenti dati tratti da [17]:

- numero di autovetture: 2.210.602 (al 31 dicembre 1995, fonte ANFIA, 1998)
- numero di abitanti: 3.723.000 (fonte ANFIA, 1998).

Da cui l'indice di motorizzazione nella provincia risulta:

$$3.723.000 / 2.210.602 = 1,684 \text{ persone per autovettura.}$$

Numero medio totale di veicoli elettrici alimentati da un sistema BT

Assumendo gli indicatori sopra riportati e un grado di penetrazione del VE pari a 10 e 20% del parco autovetture, il numero di veicoli elettrici mediamente alimentati da un modulo BT risulta:

- penetrazione del 10%: $0,1 * 150 * 2,311 / 1,684 = 20,58$ veicoli elettrici per modulo BT
- penetrazione del 20%: $0,2 * 150 * 2,311 / 1,684 = 41,17$ veicoli elettrici per modulo BT.

5.2.1 Energia media giornaliera richiesta per la ricarica di un VE

Considerando un veicolo alimentato da batteria al piombo usato in ambito urbano con un carico di 2-4 persone, da informazioni tratte da [17] e integrate da recenti esperienze CESI, è ragionevole assumere:

- percorrenza media giornaliera: 35 km
- consumo: 0,22 kWh/km
- rendimento del carica batterie: 0,75
- percorrenza media giornaliera per extrachilometri: 1% della percorrenza media giornaliera (Gli extrachilometri sono quelli eccedenti l'autonomia giornaliera del veicolo).

Di conseguenza l'energia media giornaliera di ricarica per un VE vale:

$$1,01 * 35 * 0,22 / 0,75 = 10,37 \text{ kWh}/(\text{giorno} * \text{veicolo elettrico}).$$

5.2.2 Modalità di ricarica del VE considerate nell'analisi

Le modalità di ricarica analizzate sono le seguenti:

- carica lenta notturna non controllata per il 100 % dei veicoli elettrici (per non controllata si intende l'inserzione dei carica batterie fra le ore 18 e 20);
- carica lenta notturna controllata per il 100 % dei veicoli elettrici (per controllata si intende l'inserzione dei carica batterie fra le ore 21 e 22);
- carica rapida diurna di durata di 45 minuti per l'80 % dei veicoli elettrici e carica lenta non controllata per il 20 % dei veicoli elettrici;
- carica rapida diurna di durata di 30 minuti per l'80 % dei veicoli elettrici e carica lenta non controllata per il 20 % dei veicoli elettrici;
- carica rapida diurna di durata di 15 minuti per l'80 % dei veicoli elettrici e carica lenta non controllata per il 20 % dei veicoli elettrici.

5.2.3 Potenza nominale del singolo carica batterie

La potenza del singolo carica batterie è funzione del valore medio di energia richiesto per la carica giornaliera e della durata di carica.

Per tutti i carica batterie si assume un fattore di potenza pari a 0,85.

Per la carica lenta notturna si considera una durata di 5-6 ore. Tenendo in conto che l'energia di carica è di circa 10 kWh, si ritiene ragionevole ipotizzare di usare un carica batterie monofase di potenza attiva nominale di 2,5 kW; ciò allo scopo di lasciare un leggero margine per le utenze con potenza contrattuale di 3 kW.

La potenza nominale del carica batterie risulta: $S_N = 2,5 / 0,85 = 3 \text{ kVA}$.

Per le modalità di carica rapida si assume un carica batterie trifase la cui potenza nominale è funzione della durata di carica prescelta e si ha:

- carica rapida di durata di 45 minuti: $S_N = 10,37/0,75/0,85 = 16,3 \text{ kVA}$
- carica rapida di durata di 30 minuti: $S_N = 10,37/0,5/0,85 = 24,4 \text{ kVA}$
- carica rapida di durata di 15 minuti: $S_N = 10,37/0,25/0,85 = 48,8 \text{ kVA}$.

5.2.4 Emissione armonica del singolo carica batterie

Per tutti i carica batterie la potenza distortente corrisponde a quella nominale.

Lo spettro di emissione di corrente armonica associato alla potenza distortente è assunto conforme ai limiti di emissione previsti dalla normativa per simili apparecchiature. Infatti anche se dovessero esserci vari tipi di carica batterie con emissioni diverse, essi dovranno comunque attenersi alla normativa.

5.3 Distorsione armonica di tensione sul lato AT delle CP alimentanti i sistemi di distribuzione in aree urbane

Nelle CP delle aree urbane, sulla rete di AT la distorsione armonica è pari all'1% della tensione nominale, informazioni tratte da [18]).

Relativamente allo spettro corrispondente è ragionevole assumere un valore medio come qui di seguito indicato, informazioni tratte da [18]:

Ordine armonico 5: 0,82 % della tensione nominale

Ordine armonico 7: 0,49 % della tensione nominale

Ordine armonico 11: 0,25 % della tensione nominale

Ordine armonico 13: 0,12 % della tensione nominale

VTHD: 1 % della tensione nominale

Quanto sopra riportato è assunto come valore massimo della distorsione di tensione sulla rete AT in CP.

5.4 Metodologia applicata

Il livello della distorsione armonica nella rete è ottenuto dalla composizione dei contributi dati da tutte le sorgenti di corrente armonica della rete.

Ogni iniezione armonica in rete è variabile nel tempo sia in ampiezza che in fase, ciò comporta notevoli differenze di ampiezza e fase fra le differenti iniezioni della rete appartenenti allo stesso ordine armonico. Si deve tenere anche conto delle distorsioni dovute alle impedenze percorse dalle correnti armoniche che sono diverse a seconda di dove sono posizionate rispetto ai nodi di rete in cui si osservano gli effetti.

La differenza di fase fra le iniezioni armoniche è dovuta alla tipologia dell'apparecchio (per esempio trifase o monofase) e anche alle caratteristiche di costruzione. Bisogna anche tenere conto che le iniezioni armoniche hanno fasi tali che possono cancellarsi (con sfasamenti di 180 gradi) o addirittura sommarsi aritmeticamente. In ogni caso la distorsione totale è dovuta alla combinazione vettoriale di ogni singola sorgente.

La legge di combinazione delle tensioni (correnti) è:

$$U_h = (\sum_i (U_{hi})^\alpha)^{1/\alpha} \quad (5.3)$$

con:

U_h componente individuale tensione armonica risultante di ordine h , per il gruppo (i) di iniettori considerati

U_{hi} componente individuale di tensione armonica di ordine h , calcolata per l'iniezione h_i del singolo iniettore del gruppo (i) di iniettori considerati

α esponente che caratterizza la legge di combinazione delle varie componenti individuali.

L'esponente α dipende principalmente dal valore di probabilità che la grandezza risultante non sia superata e dal campo di variazione dell'ampiezza e fase dei singoli componenti armonici. Per valori di probabilità pari al 95%, si adottano i valori di α riportati in Tabella 5.1

Tab. 5.1 Esponenti per la somma delle componenti individuali di distorsione armonica

α	Ordine armonico (h)
1	$h \leq 4$
1,4	$5 \leq h \leq 10$
2	$h \geq 11$

5.5 Analisi effettuate e presentazione dettagliata dei risultati

5.5.1 Analisi del carico nei trasformatori MT/BT in presenza di VE

L'analisi è finalizzata ai due obiettivi seguenti:

- verificare la possibilità di alimentazione del carico "VE" da parte dei trasformatori MT/BT già esistenti nel sistema di distribuzione urbano residenziale analizzato (tipico sistema mediamente caricato);

- individuare le ore più significative del diagramma di carico per l'analisi armonica di cui al successivo punto 5.5.2.

Il numero medio dei carica batterie contemporaneamente collegati alla rete è molto piccolo (anche inferiore all'unità), specialmente per quel che riguarda la ricarica rapida.

Per tener conto, anche se in maniera approssimativa, della realtà bisogna definire un fattore di disomogeneità nella distribuzione dei carica batterie fra i differenti sistemi di BT.

Si considerano due criteri

Criterio A:

un sistema BT alimenta contemporaneamente un numero di carica batterie pari al numero teorico (di Tabella 5.2) arrotondato all'unità superiore

Criterio B:

un sistema BT alimenta contemporaneamente un numero di carica batterie pari al numero teorico (di Tabella 5.2) arrotondato all'unità superiore e aumentato di una unità.

Si definisce come coefficiente di disomogeneità, K_{dis} , il rapporto tra il numero medio teorico di carica batteria contemporaneamente alimentati dal sistema BT e il numero dato dal criterio di disomogeneità per lo stesso sistema BT e quindi si ha:

$K_{dis} = (\text{numero riportato in Tabella 5.2}) / (\text{numero dato dal criterio di disomogeneità adottato}).$

Tab. 5.2 Numero medio di carica batterie contemporaneamente alimentati in un sistema BT in funzione delle modalità di carica.

Diagramma di carico (Ora)	Carica lenta notturna non controllata* Numero di carica batterie monofasi		Carica rapida diurna Numero di carica batterie trifasi					
			Durata 45 minuti		Durata 30 minuti		Durata 15 minuti	
	Penetraz 10 %	Penetraz 20 %	Penetraz 10 %	Penetraz 20 %	Penetraz 10 %	Penetraz 20 %	Penetraz 10 %	Penetraz 20 %
	(N°)	(N°)	(N°)	(N°)	(N°)	(N°)	(N°)	(N°)
10	-	-	0,92	1,84	0,61	1,23	0,31	0,61
11	-	-	0,82	1,64	0,55	1,10	0,27	0,55
12	-	-	0,82	1,64	0,55	1,10	0,27	0,55
13	-	-	1,38	2,76	0,92	1,84	0,46	0,92
14	-	-	1,38	2,76	0,92	1,84	0,46	0,92
15	-	-	1,09	2,18	0,73	1,46	0,36	0,73
18	5,10	10,20	0,58	1,17	0,39	0,78	0,19	0,39
19	15,45	30,90	0,58	1,17	0,39	0,78	0,19	0,39
20	20,55	41,10	0,41	0,81	0,27	0,54	0,14	0,27
21	20,55	41,10	0,41	0,81	0,27	0,54	0,14	0,27
22	20,55	41,10	0,27	0,54	0,18	0,36	0,09	0,18
23	20,55	41,10	0,27	0,54	0,18	0,36	0,09	0,18
24	20,55	41,10	0,27	0,54	0,18	0,36	0,09	0,18

* Per la condizione di carica lenta notturna controllata, il numero massimo di carica batterie monofasi è lo stesso ed è raggiunto alle ore 22

Tab. 5.3 Valori del coefficiente di disomogeneità nella distribuzione dei carica batterie fra i sistemi BT, applicando i criteri A e B assunti.

Criterio	Penetrazione V.E. (%)	Tipo di carica	Coefficiente di disomogeneità
A	10	Carica lenta:	circa 1
		Carica rapida, 45 minuti:	da 0,41 a 0,92
		Carica rapida, 30 minuti:	da 0,27 a 0,92
		Carica rapida, 15 minuti:	da 0,14 a 0,46
	20	Carica lenta:	circa 1
		Carica rapida, 45 minuti:	da 0,58 a 0,92
		Carica rapida, 30 minuti:	da 0,54 a 0,92
		Carica rapida, 15 minuti:	da 0,27 a 0,92
B	10	Carica lenta:	circa 1
		Carica rapida, 45 minuti:	da 0,2 a 0,46
		Carica rapida, 30 minuti:	da 0,14 a 0,46
		Carica rapida, 15 minuti:	da 0,07 a 0,23
	20	Carica lenta:	circa 1
		Carica rapida, 45 minuti:	da 0,39 a 0,69
		Carica rapida, 30 minuti:	da 0,27 a 0,61
		Carica rapida, 15 minuti:	da 0,14 a 0,46

I risultati che si ottengono dallo studio sono:

- con una penetrazione del VE fino al 10 % mediamente ci sono ancora dei margini rassicuranti per le modalità di carica lenta e rapida di durata di 45 e 30 minuti, mentre per la modalità di carica rapida di 15 minuti mediamente il margine tende a scomparire.
- con una penetrazione del VE fino al 20 % mediamente ci sono ancora dei margini rassicuranti per le modalità di carica lenta controllata e rapida di durata di 45 e 30 minuti; per le modalità di carica lenta non controllata e rapida di 15 minuti mediamente il margine tende a scomparire.

5.5.2 Analisi della distorsione di tensione sulla rete MT e BT

Si analizzano vari casi possibili:

- presenza o meno della distorsione di tensione sulla rete AT;
- presenza o meno dei banchi condensatori di rifasamento in CP;
- grado di penetrazione del VE: 0, 10 e 20 % del parco autovetture;
- ipotetica presenza del solo VE come carico distorcente della rete;

Quanto sopra per le ore più significative del diagramma di carico giornaliero.

Riportiamo come esempio la Tabella 5.9 che indica la distorsione armonica totale di tensione con VE nella modalità di carica lenta notturna controllata.

Tab. 5.4 Livelli di distorsione totale della tensione (VTHD) sulla rete MT e BT
Carica lenta notturna controllata per il 100 % dei veicoli elettrici

Condizioni di rete analizzate				Calcolo distorsione totale di tensione (VTHD)			
Diagramma di carico (Ora)	Distorsione totale di tensione su AT (%) [*]	Cond. su MT di CP (MVAR)	Grado di penetrazione del V.E. (%) ^{**}	su MT		su BT	
				Espressa in % della tensione nominale (%)	Espressa in % della tensione nominale (%)	Espressa in % del livello di compatibilità (%) ^{***}	Incremento dovuto al V.E. (%) ^{****}
22	0	0	0	1,4	2,5	32	-
22	0	0	20	1,7	3,3	41	30
22	0	5	0	1,8	2,9	36	-
22	0	5	20	2,4	3,8	47	32
22	1	0	0	2,3	3,3	41	-
22	1	0	10	2,4	3,6	45	11
22	1	0	20	2,6	3,9	49	21
22	1	5	0	4,0	4,7	59	-
22	1	5	10	4,2	5,1	64	8
22	1	5	20	4,4	5,5	68	15
22 (Effetto solo V.E.)	-	0	20	0,8	1,4	18	-
	-	5	20	1,1	1,6	21	-
Max. VTHD senza V.E., ore 14 e con condensatori da 5 MVAR						82	-

* in % della tensione nominale **in % del parco automobilistico

*** in % del livello di compatibilità di BT (livello di compatibilità BT pari a 8%)

**** incremento rispetto alla stessa condizione di rete senza VE

Osservazioni relative ai risultati:

Analizzando le varie situazioni di rete e carico si rileva che con l'aggiunta dei veicoli elettrici si ha un incremento della distorsione armonica del seguente ordine:

con VTHD non superiore al 6% incremento di

- circa 10-30% con penetrazione del VE del 10%
- circa 10-40% con penetrazione del VE del 20%

con VTDH superiore al 6% incremento di

- circa 10-15% con penetrazione del VE del 10%
- circa 10-20% con penetrazione del VE del 20%

Se si considera che l'unico carico distorcente sia il VE con una penetrazione dello stesso del 20%, l'effetto sulla distorsione armonica (espresso in % del livello di compatibilità della VTHD su BT) risulta:

- senza condensatori sulla MT di CP: circa 15-25 %
- con condensatori sulla MT di CP: circa 30-35 %

La modalità di carica più severa risulta quella rapida diurna della durata di 45 minuti; con un

fattore di disomogeneità corrispondente al criterio B e si ha:

- con una penetrazione del VE. del 10 %: circa il 46 % senza condensatori MT in CP
circa 92 % con condensatori MT in CP
- con una penetrazione del VE. del 20 %: circa il 50 % senza condensatori MT in CP
circa 100 % con condensatori MT in CP.

5.6 Considerazioni finali

In relazione all'introduzione del veicolo elettrico sulle reti MT e BT, si possono trarre le seguenti conclusioni per quel che riguarda la distorsione armonica totale della tensione e l'aumento del carico sulla rete di distribuzione.

5.6.1 Distorsione armonica totale di tensione

Nei sistemi MT e BT in aree urbane residenziali mediamente caricati, con una penetrazione del 20 % del veicolo elettrico, si ha una distorsione armonica accettabile dal sistema, ovviamente se i carica batterie rispettano i limiti di emissione delle armoniche previsti dalle normative.

Nella tabella 5.5. si riporta l'effetto del veicolo elettrico sulla distorsione armonica di tensione della rete BT:

Tab. 5.5 Livelli di distorsione armonica totale di tensione per differenti condizioni di carica del veicolo elettrico

Situazione veicolo elettrico	Situazione banchi di condensatori in CP	Distorsione totale di tensione (VTHD)* (%)
Senza VE	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	42
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	82
Con V.E., carica lenta notturna non controllata, 100 % di V.E.	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	49
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	74
Con V.E., carica lenta notturna controllata, 100 % di V.E.	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	49
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	68
Con V.E., carica rapida, durata 45 minuti per 80 % di V.E.	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	50
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	100
Con V.E., carica rapida, durata 30 minuti per 80 % di V.E.	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	50
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	97
Con V.E., carica rapida, durata 15 minuti per 80 % di V.E.	Senza banchi di condensatori su MT di C. P.	50
	Con banchi di condensatori su MT di C. P.	94

*: VTHD in % del livello di compatibilità (livello di compatibilità su BT pari a 8 % della tensione nominale).

I livelli di distorsione sopra riportati hanno luogo alle seguenti ore del diagramma di carico:

- senza VE: ore 10 o 14
- con VE, carica lenta notturna non controllata: ore 20
- con VE, carica lenta notturna controllata: ore 22
- con VE, carica rapida: ore 10 o 14 o 20.

Per una penetrazione del 10% i livelli di disturbo sono circa il 5-8 % inferiori a quelli sopra riportati.

La taglia dei trasformatori di MT/BT considerata è quella tipica della rete e non viene aumentata per l'introduzione dei veicoli elettrici. Nel caso comunque di sostituire i trasformatori con altri più potenti, la nuova situazione sarebbe meno critica per quel che riguarda la distorsione armonica.

5.6.2 Aumento del livello di carico sulle reti MT-BT

Considerando una penetrazione dei veicoli elettrici fino al 20 %, i sistemi di distribuzione MT e BT attualmente impiegati sono in grado di sopperire ai nuovi carichi.

Va tenuto presente che la potenza nominale dei carica batterie in relazione al tipo di carica risulta:

- carica batterie monofase: 3 kVA
- carica batterie trifase, durata di 45 minuti: 17 kVA
- carica batterie trifase, durata di 30 minuti: 25 kVA
- carica batterie trifase, durata di 15 minuti: 50 kVA

Nelle tabelle 5.6 e 5.7 si riporta il valore del fattore di utilizzazione dei trasformatori in presenza del veicolo elettrico.

Tab. 5.6. Fattore di utilizzazione dei trasformatori MT/BT verso le condizioni di veicolo elettrico
Ipotesi di numero di carica batterie per sistema BT secondo il criterio A

Tipo di carica del veicolo elettrico	Penetrazione del V.E. (%)	Fattore di utilizzazione del trasf. MT/BT (p.u.)
Carica lenta notturna non controllata, 100 % di V.E.	0	0,49
	10	0,73
	20	0,98
Carica lenta notturna controllata, 100 % di V.E.	0	0,49
	10	0,64
	20	0,82
Carica rapida, durata 45 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,61
	20	0,70
Carica rapida, durata 30 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,64
	20	0,69
Carica rapida, durata 15 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,74
	20	0,78

Tabella 5.7: Fattore di utilizzazione dei trasformatori MT/BT verso le situazioni di carica rapida del veicolo elettrico. Ipotesi di numero di carica batterie per sistema BT secondo il criterio B

Tipo di carica del veicolo elettrico	Penetrazione del V.E. (%)	Fattore di utilizzazione del trasf. MT/BT (p.u.)
Carica rapida, durata 45 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,67
	20	0,76
Carica rapida, durata 30 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,74
	20	0,79
Carica rapida, durata 15 minuti per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,49
	10	0,93
	20	0,98

Tab. 5.8 Fattore di utilizzazione dei trasformatori AT/MT verso le situazioni di veicolo elettrico. Ipotesi di numero di carica batterie per sistema BT: pari al numero medio

Tipo di carica del veicolo elettrico	Penetrazione del V.E. (%)	Fattore di utilizzazione del trasf. MT/BT (p.u.)
Carica lenta notturna, per 100 % di V.E.	0	0,50
	20	0,63
Carica rapida, per 80 % di V.E. e lenta notturna per il 20 % di V.E.:	0	0,50
	20	0,56

Il sistema di generazione e distribuzione è quindi in grado di alimentare il nuovo carico rappresentato dai veicoli elettrici fino ad una penetrazione del 20%, sia per quel che riguarda la potenza in più richiesta, sia per le distorsioni armoniche.

6. V2G

La figura seguente mostra quella che è la situazione di ricarica di un veicolo elettrico al momento attuale [19].

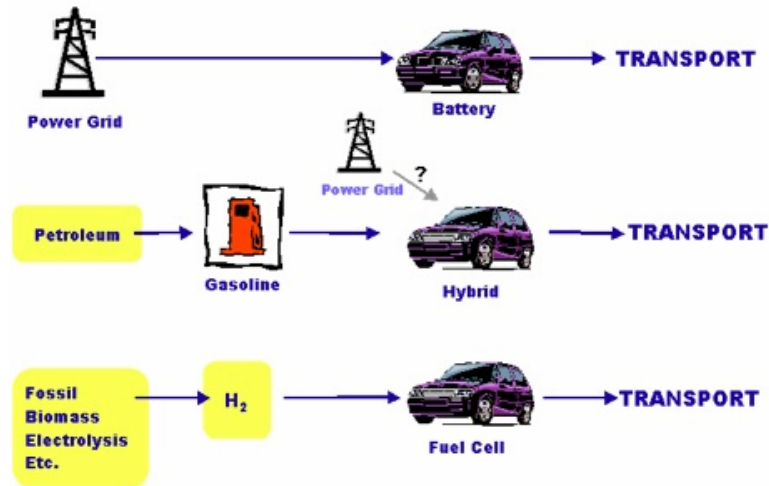


Fig. 6.1 Sistema unidirezionale di ricarica del veicolo elettrico

L'elettricità prelevata direttamente dalla rete elettrica, o generata dal veicolo attraverso la trasformazione di combustibili (benzina, idrogeno), viene utilizzata dai veicoli stessi per il trasporto di persone e merci. Questo è perciò un sistema unidirezionale.

Nel prossimo futuro invece sarà possibile avere un sistema bidirezionale, come rappresentato nella figura seguente:

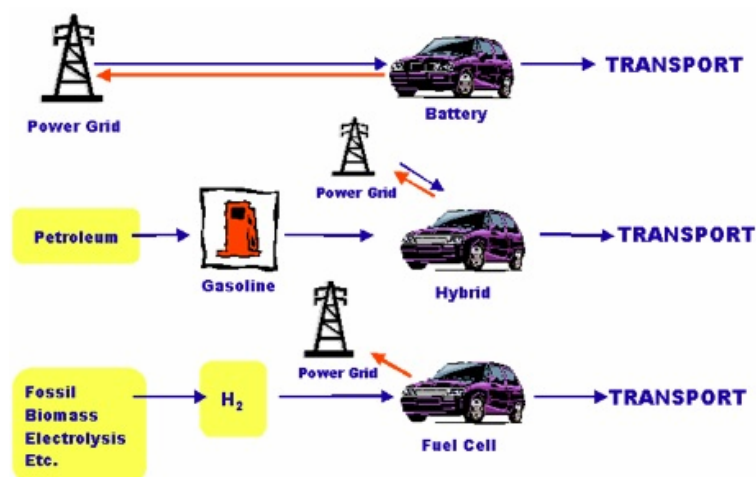


Fig. 6.2 Sistema bidirezionale di ricarica del veicolo elettrico

Questo progetto prende il nome di Vehicle-to-grid.

Vehicle-to-grid (V2G): è un sistema innovativo ideato da un'Università americana che consente di mettere in "comunicazione" le batterie dei veicoli elettrici con la rete elettrica in maniera bidirezionale, cioè dalla rete alla batteria per la ricarica ma anche dalla batteria alla rete per fornire energia alla rete stessa [20].

L'idea è nata dalla constatazione che un'automobile viene utilizzata molto poco durante la giornata e la maggior parte del tempo rimane ferma. Ci si è chiesti se fosse possibile rendere il veicolo un fornitore di energia durante il tempo in cui rimane parcheggiato. Infatti se si potesse avere un flusso di elettricità che va dalla batteria alla linea di alimentazione e non solo viceversa si potrebbero avere numerosi vantaggi, anche economici.

Presso l'Università di Delaware, un team V2G guidato dal dottor Willett Kempton sta studiando questo progetto e i vantaggi che potrebbe portare. Altri gruppi impegnati in questa ricerca sono la Pacific Gas and Electric Company, Xcel Energy, il National Renewable Energy Laboratory, e, nel Regno Unito, l'Università di Warwick.

Gli studi hanno messo in evidenza tre possibilità, a seconda del tipo di veicolo:

- Un ibrido, o un veicolo a celle a combustibile, produce energia da combustibili immagazzinabili (benzina, gas, idrogeno, ecc) e la parte di potenza che non viene utilizzata può essere trasferita alla rete elettrica per sopperire ai bisogni di energia nelle ore di punta. I veicoli diventano come un sistema di generazione distribuita.
- Un veicolo elettrico a batteria può fornire alla rete elettrica il suo eccesso di capacità per sovvenire alle richieste di picco del carico. Gli accumulatori di queste automobili verrebbero ricaricati quando la corrente costa meno e fornirebbero elettricità durante i picchi di carico. In questo caso è come se fossero dei sistemi di immagazzinamento distribuito.
- I veicoli solari che quando hanno ricaricato completamente le batterie forniscono l'energia in eccesso alla rete, in questo caso sarebbero come delle piccole centrali di energia rinnovabile.

Il New York Times riporta la seguente notizia :

"Dopo un'interruzione di corrente, un uomo della Florida ha collegato la batteria della sua Toyota Prius al gruppo di continuità della sua casa e ben presto il frigorifero funzionava e le luci si sono accese nuovamente. "Ha funzionato tutto in casa, tranne l'aria condizionata centralizzata" ... Finché ha combustibile, la Prius è in grado di produrre almeno tre chilowatt di potenza continua, che è adeguata a mantenere le funzioni di base in una casa."

Questo sistema deve però superare ancora dei problemi, anche “psicologici”: oggi i proprietari delle auto preferiscono usare la loro batteria per far funzionare l’automobile piuttosto che per equilibrare il carico della rete elettrica.

In più, al momento, le batterie non sono progettate per restituire energia alla rete, cosa che provocherebbe una maggiore usura delle stesse e quindi una loro minore durata di vita con maggior costi da sostenere .

Però in futuro conoscendo la possibilità V2G si potrebbero sviluppare batterie più longeve e ad alta capacità utilizzabili anche per questo scopo.

6.1 Prototipo

Un veicolo elettrico è stato attrezzato con un sistema che permette alla batteria di dare potenza alla rete elettrica e anche di potersi ricaricare dalla rete stessa [21].

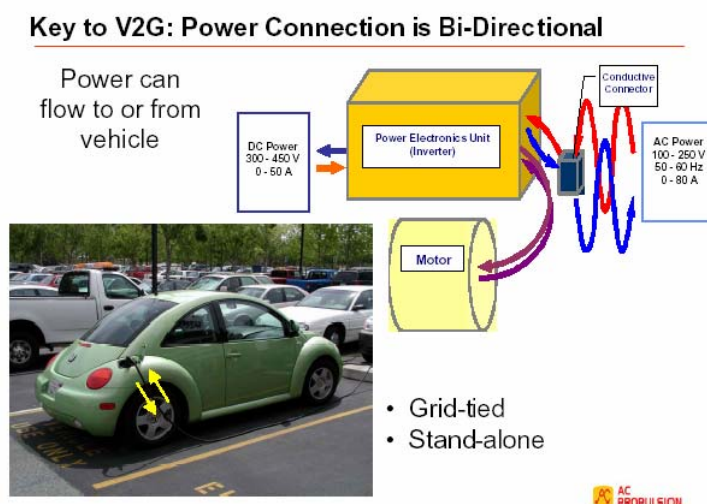


Fig. 6.3 Veicolo con sistema bidirezionale

Il veicolo è stato anche dotato di una connessione Internet-wireless che consente l’invio a distanza delle informazioni del suo stato di carica. Questo sistema è vantaggioso in quanto il veicolo sarebbe collegato alla rete quando non è in uso, il che vuol dire per la maggior parte della giornata. Per lo studio si sono presi in considerazione due periodi:

- a casa, durante la notte (14 ore)
- al lavoro (9 ore)

Attraverso questo sistema vi è il potenziale per creare un ritorno economico tale che i veicoli elettrici avrebbero un costo netto inferiore a quello dei veicoli tradizionali.

6.2 Premessa

Le automobili sono ferme e parcheggiate in media 23 ore al giorno. Per tutte queste ore rappresentano un costo senza dare nessun vantaggio. Il V2G permetterebbe di dare un valore a tutte queste ore di sosta.

Infatti collegandole alla rete, le auto possono essere fonte di energia. Ovviamente un solo veicolo non avrebbe nessuna utilità, però se i veicoli diventano migliaia avremmo una generazione di corrente capace di soddisfare una grande richiesta di energia.

Per quel che riguarda le centrali elettriche esse devono produrre la potenza necessaria che deve essere comunque utilizzata subito per evitare che una maggiore o una minore produzione di energia causino variazioni di frequenza o black-out per l'intervento di sistemi di protezione. I veicoli elettrici a batteria, con capacità di alimentazione bi-direzionale della rete grazie alla loro capacità, possono intervenire a regolare i bisogni improvvisi di corrente.

Ovviamente, una volta trasferita l'energia alla rete, la batteria manterrebbe in sé la potenza necessaria agli spostamenti (ad esempio per tornare a casa).

6.3 L'aggregator

È impossibile per il gestore della rete controllare ogni singolo veicolo, per questo verrebbe istituito un "intermediario", detto *aggregator*, che gestirebbe le interazioni tra il gestore di rete e i veicoli collegati (Fig. 6.4).

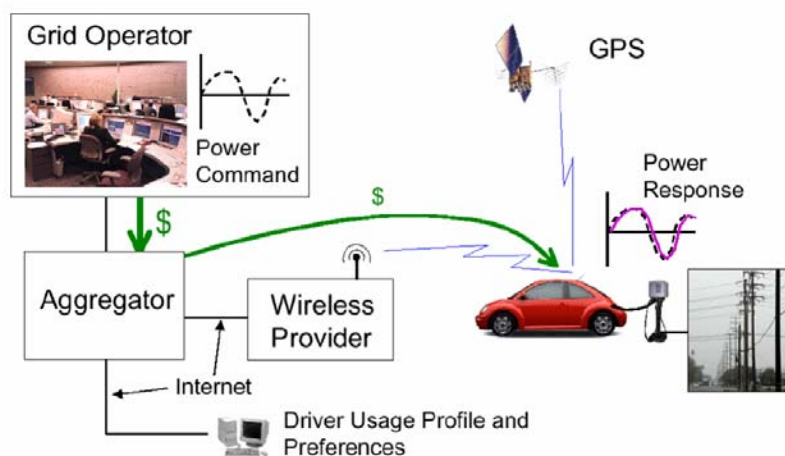


Fig. 6.4 Schema base del sistema V2G

L'aggregator riceve le richieste dal gestore e le destina ai veicoli collegati che sono facilmente localizzati attraverso il GPS.

In più l'aggregator comunicherebbe anche con i proprietari delle auto. Infatti attraverso il Web i guidatori potrebbero fornire un loro profilo in cui danno informazioni riguardo al dove, al quando e a quante ore sono collegati alla rete con la possibilità di controllare istantaneamente lo stato del loro veicolo e quanta energia hanno “prodotto” (vedi Fig. 6.5).

In pratica, attraverso Internet il guidatore direbbe all'intermediario quando e quanta energia prelevare dalla sua batteria e quanta gliene serve per tornare a casa (o per lo spostamento che deve fare). Oppure se parte per un viaggio e non sarà disponibile per alcuni giorni, o se invece lascerà l'auto in sosta per molto tempo. Ciò servirà all'intermediario per fare una previsione e quindi avvertire il gestore della rete su quanta energia è disponibile. Ovviamente ci potrebbe essere una differenza di capacità prevista, in quanto ciò che uno ha scritto nel web può non corrispondere alla realtà, ad esempio potrebbe non coincidere l'ora di sosta prevista. Questa differenza tra le previsioni web e il totale effettivo comunque tenderà a diminuire con l'aumentare dei veicoli collegati alla rete. I dati storici che si otterranno serviranno ad un migliore utilizzo del V2G, con una più precisa conoscenza della capacità che sarà disponibile. Questo servirà all'aggregator per offrire energia realmente disponibile.

Occorre però che il numero dei “partecipanti” sia elevato affinché il collegamento o lo scollegamento di un veicolo non siano avvertiti dalla rete.

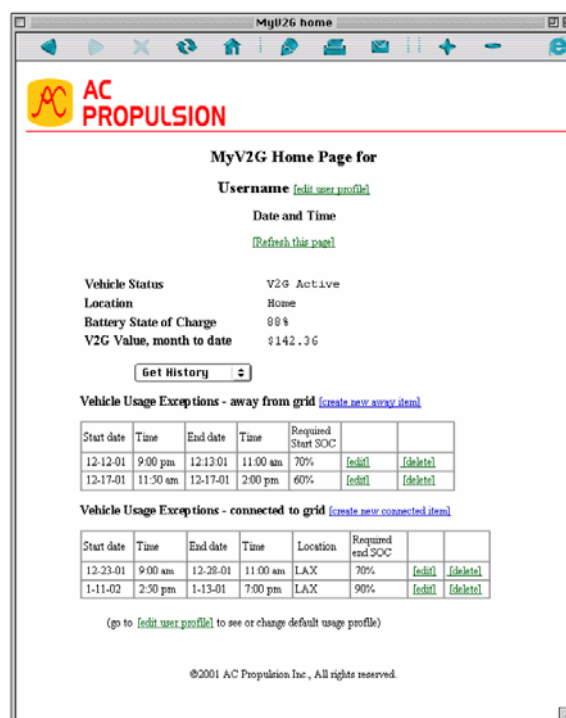


Fig. 6.5 V2G Home page

6.4 Batterie

Occorre però considerare anche l'elemento batteria. Non sarebbe vantaggioso, per il proprietario del veicolo, un degrado maggiore dell'accumulatore: un guidatore vuole essere sicuro di non trovarsi con la batteria fuori uso per aver ceduto energia alla rete.

Infatti questo andare "avanti e indietro" dell'energia attraverso la batteria potrebbe causare un eccessivo riscaldamento della stessa e quindi una situazione di pericolo e comunque una ridotta durata di vita della batteria. Per far fronte a questo problema è stato testato un sistema di raffreddamento automatico che mantiene la temperatura intorno ai 40 gradi.

6.5 Problematiche

Le problematiche da affrontare sono numerose.

Innanzitutto è necessario creare una vasta rete di interconnessioni, che permetta una connessione e una comunicazione veloce e sicura. È indispensabile realizzare una rete capace di accogliere il flusso di potenza nei due sensi, con la conseguente costruzione di colonnine adatte all'assorbimento e alla distribuzione dell'energia, applicazione di sistemi che controllino il flusso di potenza, capaci di interrompere il collegamento nel caso si verificano problemi.

Non meno importante è il problema normativo. Essendo un progetto totalmente innovativo e con forti risvolti economici dovrà essere debitamente regolarizzato per assicurare la sicurezza del proprietario della vettura e anche il regolare funzionamento della rete elettrica.

Il peso economico del progetto implica lo studio approfondito del mercato in cui si andrà ad agire (tariffe vantaggiose per l'utente, statistiche basate sui dati storici, ecc). Indispensabile diventa quindi un'indagine di mercato per capire chi è il possibile cliente del V2G.

Ovviamente il gestore della rete non ha nessun interesse a stipulare contratti con singoli veicoli o con un *aggregator* che gestisce un parco macchine ridotto, però è anche vero che, perché il V2G diventi una realtà molto estesa, occorre partire con pochi veicoli che andranno man mano crescendo di numero. Si è calcolato che in vent'anni il numero di veicoli connessi alla rete potrebbe essere di centomila unità capaci di regolare il sistema elettrico della California.

Il sistema V2G inizialmente sarà "alimentato" da poche autovetture quindi potrà fornire poca energia e inoltre avrà anche dei costi elevati, ma nonostante le inevitabili difficoltà iniziali è un sistema da incentivare e favorire perché avrà sicuramente un'utilità e degli sviluppi promettenti.



Fig. 6.6 Colonnine di ricarica per veicoli elettrici

7. Sistemi innovativi per la ricarica

7.1 Auto elettrica ricaricabile in Wireless

Il sistema di ricarica più conosciuto e più utilizzato anche in altri settori (ad esempio per la ricarica del cellulare) è quella che utilizza un caricabatterie collegato alla presa attraverso un cavo.

Un sistema molto innovativo con molti vantaggi anche se ancora in fase di studi è quello della ricarica induttiva [22].

Questo metodo sfrutta i campi elettromagnetici per ricaricare le batterie degli automezzi ed è già applicato per piccole apparecchiature elettroniche (lettori mp3).

Il vantaggio del collegamento così detto “Wireless” è che non bisogna più collegare l’auto alla colonnina con un cavo (supporto che potrebbe essere anche soggetto a lesioni) ma basterebbe avvicinarla ad una colonnina appositamente progettata.

Ovviamente essendo una nuova tecnologia va ancora studiata e migliorata.

I due problemi maggiori da superare sono:

- L’efficienza energetica della ricarica induttiva che è inferiore a quella via cavo.
- Il costo ancora troppo elevato delle colonnine di ricarica induttiva.

Però la ricarica wireless è una possibilità molto promettente e renderebbe assai più semplice ricaricare le batterie nei parcheggi o nelle aree di servizio. È presumibile comunque che in casa si continuerà ad utilizzare il cavo.

La validità di questa tecnologia si evidenzia anche dal fatto che viene fatta molta “ricerca e sviluppo” sull’argomento. Infatti la casa automobilistica Nissan ha annunciato di aver raggiunto buoni risultati e un possibile prossimo lancio delle ricarica wireless a livello commerciale.

7.2 Prese personalizzate

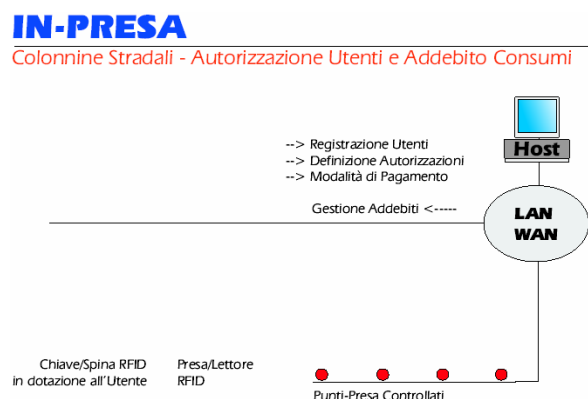


Fig. 7.1 Sistema di controllo della “presa intelligente”

Un'idea molto interessante è quella di un'azienda Toscana, la TagItalia, che ha creato una spina personalizzata. [23]

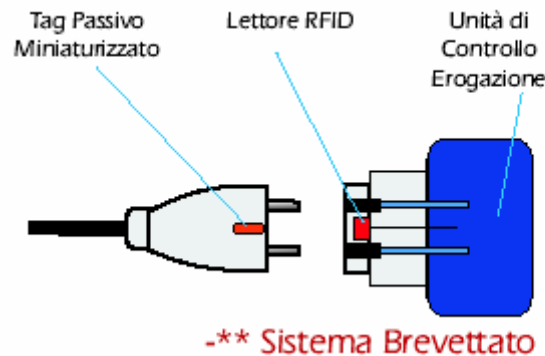


Fig. 7.2 Spina e Presa “intelligenti”

Quest'impresa ha realizzato un collegamento Spina/Presa che permette di riconoscere l'utente che richiede l'erogazione di energia con il vantaggio tra gli altri di addebitargli il costo.

Questo tipo di connessione ha raggiunto anche dei buoni risultati in fatto di sicurezza. Infatti la presa non è in tensione se non vi è collegata e riconosciuta una spina.

Nella spina è inserito un Tag passivo miniaturizzato nel quale vengono memorizzate le informazioni riguardanti l'utente.

Nella presa invece c'è un lettore RFID collegato ad un'unità di controllo.

Quando la spina viene inserita se l'utente viene riconosciuto comincia la fornitura di corrente e l'eventuale addebito.

La presa rimane senza tensione se non viene riconosciuta la spina o se avviene un distacco della stessa voluto o accidentale.

8. Progetti pilota di diffusione dei Veicoli Elettrici nelle città

La diffusione dei veicoli elettrici è ormai inevitabile.

In vari paesi si stanno già prendendo delle misure concrete per rendere sempre più una realtà la diffusione dei veicoli elettrici.

8.1 Sperimentazioni

Non si può pensare di far partire il progetto di sostituzione dei vecchi veicoli a combustibile con i più moderni e meno inquinanti veicoli elettrici, progettando questi ultimi solo su carta e testandoli in laboratori o provandone qualche prototipo su strada per pochi chilometri e in maniera saltuaria. Quello della diffusione delle auto elettriche è un progetto ambizioso e pieno di problemi molti dei quali forse non sono neanche prevedibili facilmente. L'unico modo per rendere questa tecnologia capace di avere un mercato e di trovare l'apprezzamento dei proprietari delle macchine, è di provare questa realtà su larga scala. Occorre mettere l'auto elettrica nella vita quotidiana di un gran numero di persone.

Un progetto di questo tipo è partito in Israele [24].

Infatti la cittadina di Herzlyia a Nord di Tel-Aviv è stata scelta da Shai Agassi (uno dei maggiori esperti per quel che riguarda le reti di distribuzione per l'auto elettrica nel mondo) come paese dove sperimentare il suo progetto Better Place. È un territorio più piccolo della Lombardia per metà occupato dal deserto del Neghev e purtroppo circondato da vicini ostili che rendono questa città come un'isola. Infatti la popolazione è concentrata in una zona centrale larga appena 15 km. Quindi di solito in macchina si percorrono al massimo 70 km, distanza ideale per testare le batterie che oggi hanno un'autonomia di 150 km.

Anche la Danimarca sta per far partire un progetto simile. I governi di questi due Paesi puntano molto sulle auto elettriche, tanto che per favorirne la diffusione le hanno defiscalizzate.

In Israele sono già state messe in un parcheggio due colonnine per la ricarica delle auto ed è in fase di progettazione di installarne un migliaio distribuite in tutta la città, vicino alle case private, nei parcheggi degli uffici, negli spazi pubblici in modo da avere un sistema capillare di ricarica.

Ci sono accordi con case automobilistiche, tipo la Renault-Nissan per la fornitura di veicoli elettrici con batterie agli Ioni-Litio. Si stanno già approntando anche i software per gestire il sistema.

I due problemi principali da affrontare sono legati principalmente alle batterie: hanno un costo elevato e un'autonomia ancora limitata.

Agassi ha pensato di lasciare la proprietà delle batterie ai gestori del sistema, così facendo il cliente non dovrà comprarla. In pratica sarà come per i servizi di telefonia: il guidatore dovrà pagare solo i chilometri percorsi potendo contare anche su diversi piani tariffari calcolati in base a quelle che sono le esigenze particolari di ognuno.

Per quelli che dovranno percorrere poca strada ci saranno le colonnine di ricarica in posti adatti: nel parcheggio dell'ufficio o vicino a casa. Quelli che dovranno percorrere molti più chilometri (oltre 150 chilometri) troveranno delle stazioni di ricambio dove dei sistemi robotizzati sostituiranno velocemente la batteria scarica con una carica.

Nonostante ci siano altri problemi da superare questo progetto pilota ha avuto un grande successo tanto che già in molti paesi si stanno attrezzando per renderlo concreto. Dopo Israele e Danimarca partirà anche a San Francisco e in Australia.

8.2 Cabine telefoniche come punti di ricarica per veicoli elettrici

Una curiosità, ma che dà comunque l'idea di quanto ormai tutti i paesi si stiano attrezzando per l'immissione su larga scala dei veicoli elettrici, è una notizia che arriva dalla Spagna. In questo paese infatti si vogliono trasformare le vecchie cabine telefoniche, rese ormai inutilizzate dalla diffusione dei cellulari, in punti di ricarica per le auto elettriche [25].

L'idea è nata dal fatto che le cabine telefoniche sono situate già in punti strategici delle città e sono già collegate alla rete elettrica, fatto questo che porterà ad un risparmio e anche a meno disagi per la cittadinanza: non ci sarà bisogno di rompere le strade per far passare nuovi cavi. Si comincerà con 30 cabine.

La città di Madrid ha già stanziato 10 milioni di euro per avviare questo progetto.

In totale si immetteranno circa 2000 veicoli elettrici nei prossimi due anni a Madrid, seguita da Barcellona e Siviglia e quindi in totale saranno trasformate in punti di ricarica circa 500 cabine telefoniche.

8.3 Presa universale auto elettrica

Perché l'auto elettrica incominci a diffondersi in maniera ampia, occorre passare attraverso vari livelli: produzione su vasta scala di veicoli elettrici, progettazione, realizzazione di batterie efficienti e adatte a quest'uso (batterie al Litio, ecc), realizzazione di una vasta rete di ricarica. Per quel che riguarda quest'ultima sarà importantissimo che tutte le case produttrici degli automezzi arrivino ad un'unificazione dei sistemi di ricarica. Infatti i guidatori dovranno agevolmente poter

ricaricare le loro auto in tutte le stazioni, cioè la rete distributiva (kit di ricarica, cambio batterie, stazioni di ricarica) dovrà essere standardizzata. Se un automobilista dovesse andare in cerca di una stazione di ricarica che vada bene per la sua batteria o che si adatti alla spina del suo ricarica batterie il progetto auto elettrica sarebbe fallito già in partenza. L'utilizzo dei nuovi veicoli deve essere facile in tutti i suoi aspetti. Quindi:

- nelle stazioni di servizio si dovranno poter sostituire le batterie su tutte le auto indipendentemente dal modello e dalla marca. Quindi gli accumulatori dovranno essere standard e uguali per tutti;
- la presa dovrà essere universale e la ricarica dovrà poter essere possibile in tutte le stazioni di servizio e con qualsiasi kit di ricarica.

I produttori hanno da subito compreso l'importanza di questo punto [26].

Infatti nel 2009 alcune società del settore elettrico (EDF, Endesa, Enel, Eon, Npower, Vattenfall) e alcune case automobilistiche (BMW, Fiat, Ford, General Motors, Mitsubishi, Toyota e Volkswagen) hanno raggiunto un accordo di massima su una presa universale che dovrà avere le seguenti caratteristiche: 400 Volts, 63 Ampère e 5 poli.

8.4 Enel-Piaggio

Enel e Piaggio hanno raggiunto un accordo per studiare insieme le esigenze di mobilità e di ricarica elettrica e di eseguire test sull'interazione tra l'infrastruttura di ricarica Enel e i veicoli elettrici della Piaggio [27].

La Piaggio fornirà know-how, informazioni e dati tecnici sui mezzi elettrici, sui loro utilizzi e sulle esigenze di ricarica, e offrirà alcuni suoi mezzi elettrici per le sperimentazioni (lo scooter Piaggio Mp3 Hybrid, il veicolo commerciale Porter Electric Power e il "tre ruote" Ape Calessino Electric Lithium). Enel metterà a disposizione la sua innovativa infrastruttura di ricarica elettrica.

Insieme faranno anche partire dei progetti pilota per testare quali sono le reali utilizzazioni ed esigenze dei veicoli elettrici. Per fare questo occorrerà trovare diverse città o situazioni di utilizzo con differenti esigenze di mobilità.

8.5 Stazione di ricarica solare per auto elettriche

La copertura di un parcheggio non sarà più solo utilizzata come riparo per l'auto ma anche come sistema di ricarica dei veicoli elettrici attraverso pannelli fotovoltaici [28].



Fig. 8.1 Pannelli fotovoltaici per la ricarica dei veicoli elettrici

A Palermo è stato costruito un parcheggio per auto la cui copertura è stata realizzata con pannelli fotovoltaici. L'elettricità così generata sarà usata per la ricarica di veicoli elettrici.

Questo costituisce un progetto pilota per creare una mobilità urbana a emissioni zero. Infatti in questo sistema non c'è produzione di inquinamento né nella fase di generazione di elettricità, né nell'uso dei veicoli. Questo è molto importante in quanto uno degli scopi per cui è urgente l'introduzione di veicoli elettrici come mezzi di trasporto è proprio il cercare di diminuire in maniera significativa l'inquinamento atmosferico.

La copertura di questo parcheggio sarà costituita da pensiline che supporteranno un pannello fotovoltaico. L'energia prodotta in realtà sarà venduta all'Enel e riacquistata a necessità.

Questo parcheggio sarà come una zona di interscambio: il guidatore potrà lasciare qui la sua auto e prenderne una elettrica, così facendo avrà accesso anche a zone di solito interdette alle auto convenzionali.

La realizzazione di questo parcheggio prevede di utilizzare delle strutture portanti in moduli, tali da poter essere ingrandito, cercare di limitare gli appoggi a terra in modo da facilitare i movimenti delle auto, integrare i pannelli fotovoltaici in maniera anche esteticamente accettabile e renderli visibili all'utente che così può conoscerne il funzionamento.

Questo è il primo progetto di un sistema totalmente a emissioni zero che probabilmente diventerà una struttura molto comune in tutte le città.

9. Conclusioni

Dall'analisi dei vari accumulatori attualmente disponibili, si è visto come vi sia stato negli ultimi anni un grande progresso in questo campo: si è passati da quelli al Piombo-acido, che mantengono ancora una grande validità e che sono ampiamente utilizzati, alle batterie all'idruro metallico a quelle al Litio. Quest'ultime sono brillantemente utilizzate in veicoli che il gruppo Renault-Nissan ha fornito a Shai-Agassi per il suo progetto in Israele e mostrano di poter costituire per il futuro una valida alternativa agli accumulatori tradizionali per l'alimentazione dei veicoli elettrici.

Lo studio condotto dal CESI, con riferimento alla rete elettrica italiana, mostra che la rete stessa è in grado di far fronte al nuovo carico costituito dalla batteria dei veicoli elettrici in fase di ricarica. Ciò riguarda sia la potenza fornita sia il contenuto armonico delle tensioni. Quindi anche nelle più gravose ipotesi di penetrazione del veicolo elettrico nel parco automobilistico, non risulterebbe necessario in tempi brevi un potenziamento della rete in bassa tensione.

Infine il progetto V2G (vehicle-to-grid) appare fin da subito un'interessante possibilità di sviluppo, poiché il poter disporre di un sistema di accumulo di energia distribuito nel territorio potrebbe avere interessanti ripercussioni sulla qualità della distribuzione dell'energia elettrica. Da questo punto di vista il veicolo elettrico si proporrebbe non soltanto come mezzo di trasporto a basso impatto ambientale, ma anche come un sistema con maggiori opportunità sia sul piano tecnologico che su quello dei vantaggi economici.

Che il veicolo elettrico sia il mezzo del futuro appare chiaramente anche dall'impegno profuso da molte industrie, tipo la Tagitalia con il suo brevetto sulla presa intelligente, e dai vari accordi tra case automobilistiche e società elettriche (come l'Enel e la Piaggio) tese a mettere in comune le proprie conoscenze e capacità per incentivare e rendere una realtà l'introduzione del veicolo elettrico nelle città.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cristina Carnevali, Riccardo Genova, Maurizio Mazzucchelli, Alessandro Sasso.
“Il ruolo dei veicoli elettrici ed ibridi per il trasporto individuale e collettivo: tecnica ed ambito di utilizzo”.
Centro Interuniversitario di Ricerca Trasporti. Genova
- [2] http://it.wikipedia.org/wiki/Auto_elettrica
- [3] <http://www.salrandazzo.it/autoelettrica/teoria.htm>
- [4] Tesi di Enrico Andreato:
“Sistemi elettrochimici di accumulo di energia nei mezzi di trasporto”. Università di Padova, dipartimento di Ingegneria Elettrica. Anno accademico 2007-08
- [5] Tesi di Andrea Toscani:
“Veicoli elettrici di tipo ibrido per una mobilità urbana sostenibile” Università degli studi di Parma, dipartimento di Ingegneria dell’Informazione. Dottorato di Ricerca in tecnologie dell’informazione XX ciclo. Dissertazione presentata per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca. Gennaio 2008.
- [6] http://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_agli_ioni_di_litio
- [7] http://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-polimero
- [8] http://it.wikipedia.org/wiki/Batteria_redox_al_vanadio
- [9] Tesi di Marco Stocchero, “Stato dell’arte dei sistemi di accumulo dell’energia elettrica”. Università di Padova , dipartimento di Ingegneria Elettrica. Anno Accademico 2008-09.
- [10] http://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-ferro-fosfato
- [11] http://it.wikipedia.org/wiki/Pila_zinco-aria

[12] Ing. Antonio Buonarota (CESI)

”Il veicolo elettrico e la sua infrastruttura di ricarica. La sicurezza e la normativa” (anno 2000)

Rapporto SFR-SIN-A0/031421.

[13] Ing. A. Buonarota (CESI)

“La ricarica del veicolo elettrico: la potenza e l’energia elettriche necessarie, i disturbi introdotti nel sistema elettrico. Alcuni aspetti normativi”.

Eltec/Traspel/2003/2004

Rapporto SFR-A3/013314

[14] UNIPEDE NORMCOMP Report

Mains harmonics in public distribution systems. Contribution of class D equipment; February 1997

[15] ENEL Società per azioni

Dati storici sull’attività della Società (1963 – 1995)

Raccolti a cura della Direzione Programmazione e Strategie; Luglio 1996

[16] Dati ISTAT: Demographic balance for the year 2000

Da sito Internet <http://demo.istat.it/e/bil1/download.htm>

[17] Documento di RdS TRASP-EL/PEC07/004 del dicembre 2000 dal titolo “L’infrastruttura per la ricarica dei veicoli elettrici stradali nelle aree urbane: definizione di una metodologia per il suo dimensionamento su basi tecniche ed economiche”.

[18] Rapporto CESI SYST – 97/037611

Determinazione delle condizioni di interfaccia tra sistema di distribuzione e sistema di trasmissione con riferimento alla qualità della forma d’onda della tensione, 31.12.97)

[19] <http://www.udel.edu/V2G/pag.e2/pag.e8/pag.e8.html>

[20] <http://en.wikipedia.org/wiki/V2G>

[21] V2G Final Report

Vehicle-to-Grid Demonstration Project: Grid Regulation Ancillary Service with a Battery Electric Vehicle.

Contract number 01-313

Alec N. Brooks Principal Investigator

Prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency

AC Propulsion, Inc. 441 Borrego Ct. San Dimas, CA 91773 www.acpropulsion.com December 10, 2002

<http://www.udel.edu/V2G/docs/V2G-Demo-Brooks-02-R5.pdf>

[22] <http://www.autoage.it/info/auto-elettrica-ricaricabile-in-wireless.php>

[23] <http://www.in-presa.com/sistema.php>

[24] <http://www.ilsole24ore.com/art/SoleOnLine4/Tecnologia%20e%20Business/2009/01/auto-elettrica-distribuzione-ricarica.shtml?uuid=d98f5aac-ed5e-11dd-a20b-0bfe87f244c0&DocRulesView=Libero>

[25] <http://www.ecoblog.it/post/9028/la-spag.na-trasforma-le-cabine-telefoniche-in-punti-di-ricarica-per-auto-elettriche>

[26] <http://www.autoage.it/info/presa-universale-auto-elettrica.php>

[27] http://www.enel.it/it-IT/media_investor/comunicati/release.aspx?iddoc=1629438

[28] <http://www.rinnovabili.it/stazione-di-ricarica-solare-per-auto-elettriche>