

I VEICOLI ELETTRICI ED IL LORO IMPATTO SULLA RETE DI DISTRIBUZIONE

CAPITOLI E RIFERIMENTI AGLI ARGOMENTI

*** 1 *** INTRODUZIONE [pag.1]

-1.1 **scenario attuale**

-1.2 **punti chiave VE**

*** 2 *** GENERALITA' E STORIA VE [pag.4]

-2.1 **storia VE**

-2.2 **veicoli ibridi**

-2.2.1 serie

-2.2.2 parallelo

-2.2.3 Ibridi micro, mild e full-hybrid, split hybrid

*** 3 *** IL VEICOLO ELETTRICO: STRUTTURA [pag.9]

-3.1 **generalità e rendimento**

-3.2 **batterie**

-3.2.1 accumulatori elettrochimici

-3.2.2 tipologie delle batterie

-3.2.3 la tecnologia degli accumulatori al litio

-3.3 **motore**

*** 4 *** INFRASTRUTTURE DI RICARICA [pag.18]

-4.1 **connessione veicolo – rete elettrica**

-4.1.1 carica batteria "a bordo" o "a terra"

-4.1.2 modalità di connessione

-4.1.3 la ricarica induttiva

-4.2 **infrastrutture nel medio-breve termine**

-4.2.1 ricarica lenta o ricarica rapida?

-4.2.2 ricarica conduttiva o induttiva?

-4.2.3 colonnine isolate o stazioni di ricarica?

*** 5 *** IMPATTO SULLA RETE, PROBLEMATICHE [pag.25]

-5.1 **l'introduzione dei VE in Italia**

-5.1.1 infiltrazione nel sistema preesistente

-5.1.2 forzando il sistema attuale

-5.1.3 scenario tecnologico "auto elettrica"

-5.2 la rete e la ricarica dei veicoli elettrici: potenza e distorsioni armoniche [pag.35]

-5.2.1 impatto sulla rete: analisi del carico nei trafi MT/BT

-5.2.2 impatto sulla rete: analisi della distorsione di tensione della rete

***** 6 *** SMART GRID E V2G [pag,43]**

-6.1 il concetto di smart grid

-6.2 V2G: vehicle to grid

1.INTRODUZIONE

1.1 Scenario attuale

L'impiego dei veicoli elettrici in sostituzione di quelli tradizionali, è tuttora oggetto di molti studi e di ricerche in varie parti del mondo ma l'attenzione comune verso quella che sarebbe una vera e propria rivoluzione ambientale e tecnologica non è mai stata così viva.

Molti sono i fattori che spingono la ricerca verso lo studio dei veicoli elettrici, in primis l'inquinamento atmosferico e la necessità sempre più pressante di uno sviluppo sostenibile, ovvero uno sviluppo che sia in grado di soddisfare le necessità attuali senza compromettere le possibilità delle generazioni future di soddisfare le proprie.

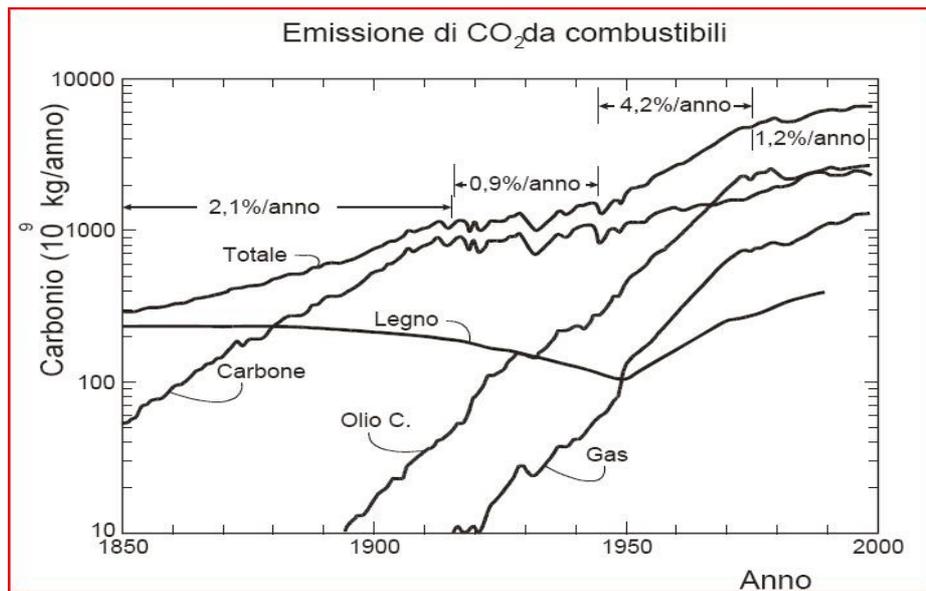
Dalla Fig1.1, possiamo notare come il petrolio, nell'ambito degli usi finali di energia per settore, venga prevalentemente utilizzato per il settore dei trasporti, con un trend percentuale crescente negli ultimi vent'anni, ricordando anche che le emissioni di CO2 da parte delle centrali elettriche sono solamente il 28% di quelle totali e comunque molto più "controllabili" (attraverso sistemi CCS, ecc) rispetto a quelle degli usi finali.

	Total Final consumption [toe]	Industry [%]	Transport [%]	Tertiary + Residential + Agriculture [%]	Not Energy [%]
Coal	0.66 (0.61)	76 (58)	1 (5)	20 (36)	2.4 (0.8)
Oil	3.4 (2.26)	20 (27)	58 (42)	16 (25)	6.6 (6.4)
Natural Gas	1.2 (0.67)	45 (57)	5 (2.6)	50 (41)	-
Electricity	1.29 (0.44)	42 (51)	1.8 (2.4)	56 (46)	-
Biomass	1 (0.63)			100	-

[Fig1.1] (Usi finali di energia per settore, Fonte IEA; i dati si riferiscono al 2005, tra parentesi i dati del 1973)

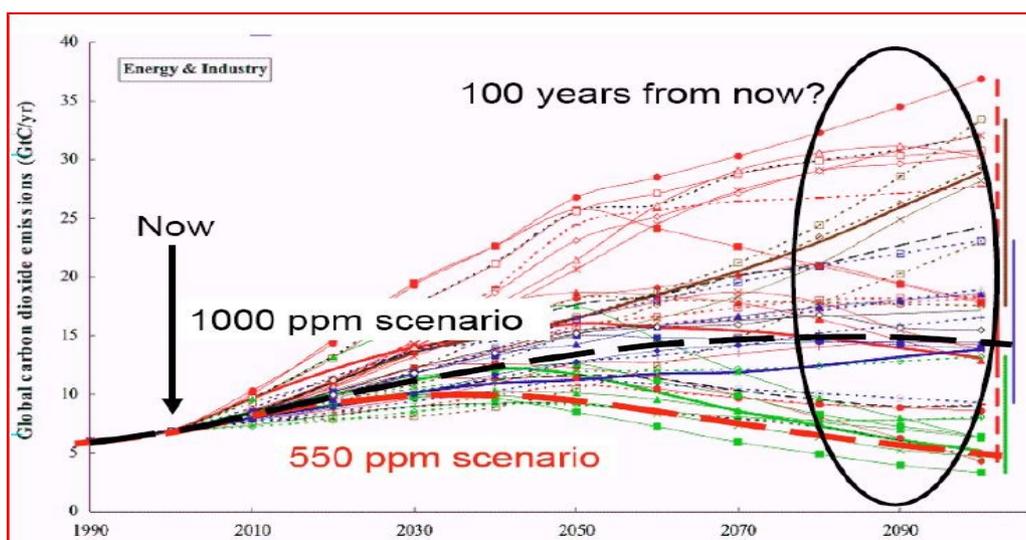
A fronte delle sempre più ingenti emissioni, a partire dalla seconda rivoluzione industriale, di gas serra nell'atmosfera, ormai è evidente il fenomeno dell'effetto serra "antropico" ossia dovuto alle attività umane [Fig1.2]. Le proiezioni sulla futura situazione climatica della Terra, secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) si possono sintetizzare con un aumento della temperatura media globale della superficie terrestre tra 1.4 e 5.8 gradi centigradi nel periodo 1990-2100; questo

anche per la grande inerzia termica degli oceani che farebbero aumentare la temperatura anche dopo un'eventuale stabilizzazione dei gas serra nell'atmosfera. [Fig1.3]



[Fig1.2]

Contestualmente all' uso sempre crescente del petrolio sono da considerarsi due elementi di primaria importanza che spingono a favore dello sviluppo dei veicoli elettrici, essi sono il significativo aumento del costo del greggio ed i problemi legati all'esaurimento delle fonti fossili in generale, attualmente le riserve stimate sono di circa 40 anni. L'insieme di tutti questi fattori ambientali ed energetici, congiuntamente al progredire della tecnologia delle batterie ed alla presa di coscienza dell'ormai concreta possibilità di nuovi mercati da parte dell'industria automobilistica, hanno portato oggi ad una imminente offerta di prodotti da parte di molti grandi marchi. Tuttavia ciò non ci deve far pensare all'immediata possibilità di una diffusione di massa dei veicoli elettrici.



[Fig1.3] (Vari scenari sulle future emissioni in atmosfera)

1.2 Veicoli elettrici: i punti chiave

Almeno tre sono i punti chiave da affrontare per poter avere una diffusione capillare dell'auto elettrica.

Il primo riguarda l'infrastruttura di ricarica e l'adeguamento della rete elettrica. La diffusione di massa richiederà inevitabilmente un lavoro coordinato tra le case automobilistiche, le compagnie elettriche e le amministrazioni pubbliche affinché la ricarica, oltre che in sede privata, possa essere effettuata anche in area pubblica. Da ciò deriva una forte standardizzazione e l'esigenza di soluzioni intelligenti, per quanto riguarda la comunicazione tra veicoli e infrastruttura, che siano in grado oltre che ad indentificare l'utente per provvedere alla fatturazione dei consumi, anche di gestire le batterie in una prospettiva di utilizzo come accumulo distribuito, gestendo il flusso di potenza in modo bidirezionale (V2G- "vehicle to grid").

Il secondo, la durata delle batterie. Negli ultimi anni vi sono stati grandi progressi in questo campo attraverso sia test di laboratorio che dimostrativi. E' comprensibile che le case automobilistiche, prima di far fronte ad enormi investimenti per la produzione di massa, vogliano avere certezze sempre più consolidate circa le prestazioni e la durata.

Non per ultimo l'aspetto economico, forse il più delicato. Se da un lato l'introduzione dell'auto elettrica porterebbe, una volta a regime, alla tanto ambita sostenibilità ambientale ed anche ad una riduzione dei costi per gli utenti, dall'altro presenterà sicuramente una fase introduttiva di notevole difficoltà, non solo dal punto di vista dello stravolgimento delle consolidate abitudini legate alle vecchie automobili ma soprattutto sotto l'aspetto economico. In tal senso la collettività dovrà farsi carico dei notevoli extracosti per l'avvio del mercato, anche per quanto riguarda le infrastrutture di ricarica. Tutti questi aspetti non devono certo essere sottovalutati, essi sono importanti tanto quanto l'aspetto tecnologico, perciò è necessario che si vedano nascere quanto prima dei Piani Nazionali a favore dei veicoli elettrici, come sta avvenendo in molti paesi.

CAP.2 GENERALITA' E STORIA VE:

dagli albori alle auto ibride serie / parallelo

2.1 Storia dei VE

L'auto elettrica a batteria (BEV: Battery electric vehicle) fu una tra i primi tipi di automobile ad essere inventata, sperimentata e commercializzata. Tra il 1832 ed il 1839 (l'anno esatto è poco certo), l'imprenditore scozzese Robert Anderson inventò la prima carrozza elettrica, nella sua forma più cruda.

Il miglioramento delle batterie, dovuto ai francesi Gaston Plante nel 1865 e Camille Faure nel 1881, consentì il fiorire dei veicoli elettrici. Francia e Gran Bretagna furono le prime nazioni testimoni dello sviluppo del mercato delle auto elettriche.

Pochi anni prima del 1900, prima della preponderanza del potente ma inquinante motore a combustione interna, le auto elettriche detenevano molti record di velocità e di distanze percorse con una carica. Tra i più notevoli di questi record è stato l'infrangere la barriera dei 100 km/h di velocità, raggiunta da Camille Jenatton nel suo veicolo elettrico a forma di razzo, nominato "La Jamais Contente".

I veicoli elettrici a batteria, prodotti dalle ditte Anthony Electric, Baker Electric, Detroit Electric ed altri, nel corso dei primi anni del XX secolo, per un certo tempo vendettero di più rispetto ai veicoli a benzina. A causa dei limiti tecnologici delle batterie, e della mancanza di una qualsiasi tecnologia di controllo della carica e della trazione, la



velocità massima di questi primi veicoli elettrici era molto limitata (circa 30 km/h). In seguito questi veicoli vennero venduti con successo come town car (veicoli di quartiere o di paese) a clienti delle classi agiate, e venivano spesso commercializzati come veicoli appropriati al sesso femminile, a causa della loro operatività semplice, pulita e poco rumorosa.

Oggi assistiamo alla diffusione dei cosiddetti veicoli ibridi che utilizzano sia motori elettrici che motori a combustione interna (ICE: Internal combustion engine), quindi con la presenza a bordo di due (o più) sorgenti di energia.

2.2.1 Auto ibrida serie

L'ibrido serie impiega esclusivamente il motore elettrico per la propulsione.

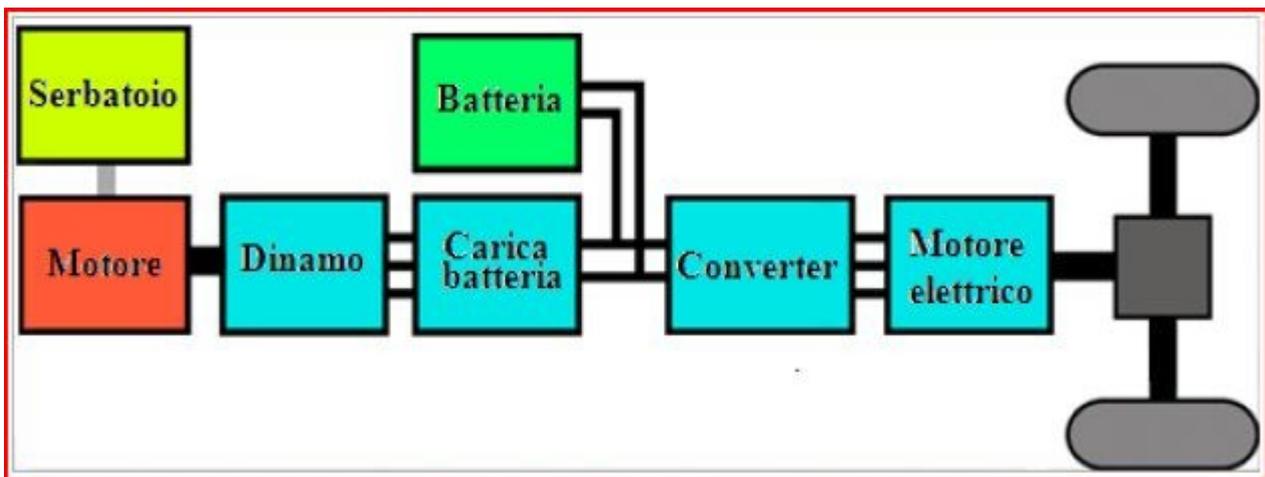
L'energia necessaria al motore elettrico è prodotta da un generatore trascinato dal motore a combustione interna e viene immagazzinata in un banco di accumulatori. Il flusso di energia (elettrica o meccanica), percorre le componenti del sistema in serie, passando dal motore endotermico, attraverso il generatore elettrico alle batterie, da cui poi viene prelevato dal motore elettrico per essere trasferito alle ruote.

Nella marcia a potenza ridotta il sistema di generazione alimenta il motore elettrico e ricarica contemporaneamente le batterie. Quando sono richiesti spunti di potenza le batterie restituiscono questa energia, affiancandosi al generatore nell'alimentazione del motore di trazione.

Il motore a combustione interna viene utilizzato a regime costante nel punto di massimo rendimento consentendo una drastica riduzione delle emissioni nocive e della rumorosità del mezzo, oltre ad un migliore rendimento energetico.

Il dimensionamento del motore termico è determinato dalla potenza media richiesta dal veicolo, a differenza degli autoveicoli tradizionali nei quali il motore a combustione interna viene impiegato direttamente per la propulsione e deve essere quindi dimensionato in base alla massima richiesta.

L'ibrido serie consente l'installazione di un motore termico di cilindrata ridotta funzionante a regime fisso di rotazione, raggiungendo rendimenti elevati, limitando le emissioni inquinanti ed utilizzando gli accumulatori quali "volano energetico".



[Fig 2.2]

2.2.2 Auto ibrida parallelo

Nell'ibrido parallelo sono previste due distinte motorizzazioni, una termica e l'altra elettrica.

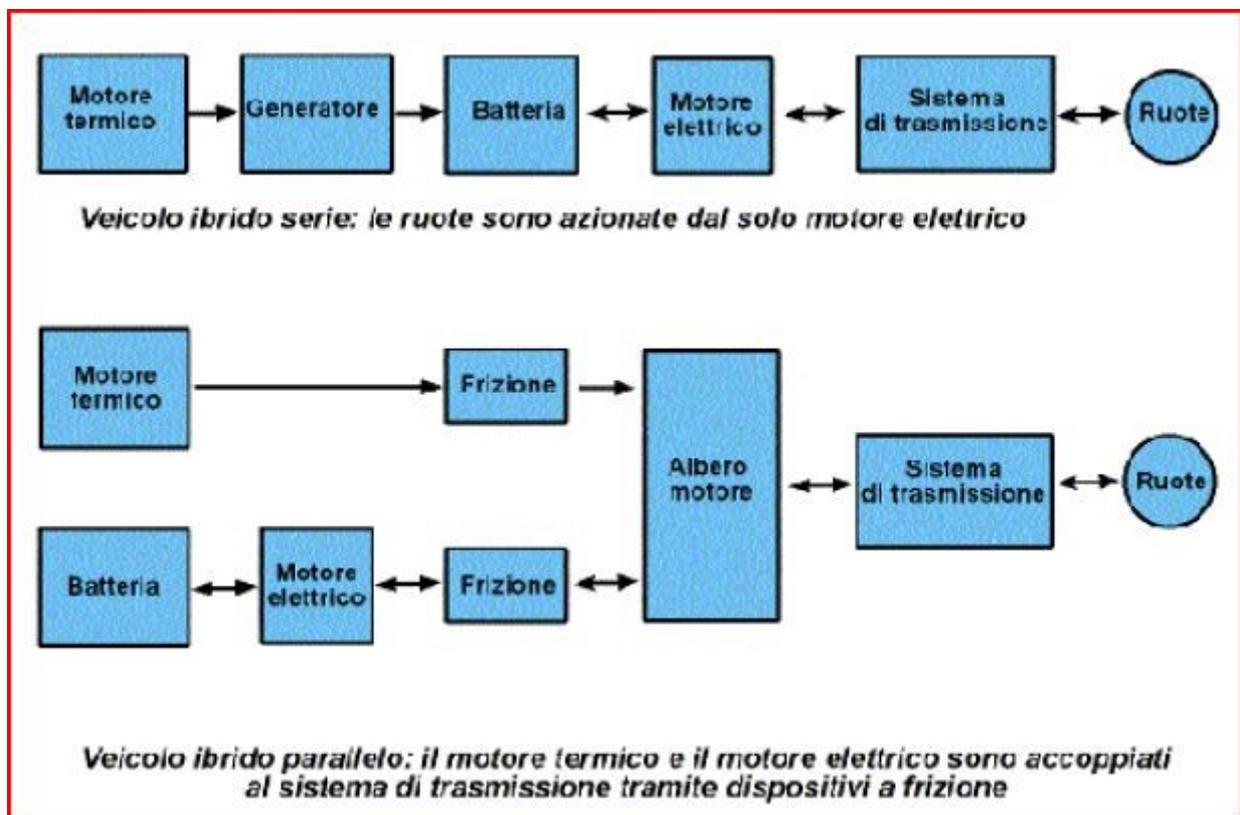
Il motore termico è collegato alla trasmissione mediante una frizione elettromagnetica e consente quindi la propulsione diretta del veicolo, con un migliore rendimento energetico rispetto all'ibrido

serie. In aggiunta, una o più macchine elettriche, anch'esse inseribili e disinseribili in vari modi nella trasmissione, svolgono le funzioni di propulsione e/o di generazione. Nel funzionamento in ibrido, pertanto, c'è un parallelo meccanico tra i due motori, le cui coppie si sommano in una coppia risultante alle ruote pari a quella richiesta dal guidatore. È in genere possibile anche la marcia con il solo motore elettrico (a potenza ridotta) oppure la ricarica delle batterie, con il motore termico che, trascinando il motore elettrico oppure una seconda macchina elettrica, funziona contemporaneamente da motore di trazione e da motogeneratore.

I livelli di emissione sono superiori rispetto all'ibrido serie, ma rimangono comunque ridotti in virtù del funzionamento del motore termico a regime quasi ottimale. Nella configurazione "parallelo", è sufficiente adottare un motore elettrico di potenza ridotta fino al 30 – 40% della potenza complessiva richiesta, poiché la restante potenza è fornita direttamente dal motore termico.

Sebbene le emissioni siano maggiori, da un punto di vista energetico la configurazione parallelo risulta più vantaggiosa rispetto a quella serie, in quanto consente un minor numero di trasformazioni del flusso energetico (manca la conversione energia meccanica-elettrica-meccanica del caso serie) e quindi di perdite.

Altri vantaggi sono la maggiore potenza specifica e la maggiore compattezza rispetto all'ibrido serie, oltre ad un rendimento teoricamente migliore nell'uso autostradale, dove è possibile la marcia a regime ottimale con il solo motore termico.



[Fig 2.3] (Confronto tra ibrido serie e ibrido parallelo)

2.2.3 Ibridi micro, mild e full-hybrid, split hybrid

L'ibrido micro è un ibrido parallelo che usa una macchina elettrica piccola (10 – 15 kW al massimo) che integra varie funzioni: fa da motorino di avviamento, da motore elettrico la cui azione si aggiunge a quella del motore termico durante le fasi di accelerazione, da alternatore, da recuperatore dell'energia della frenata.

Tale sistema garantisce un'elevata autonomia e consumi ridotti in autostrada, circostanza in cui sfrutta il motore termico, e nello stesso tempo consente consumi ed emissioni ridotti in città grazie al sistema di recupero in frenata ed all'integrazione di coppia effettuata dal motore elettrico.

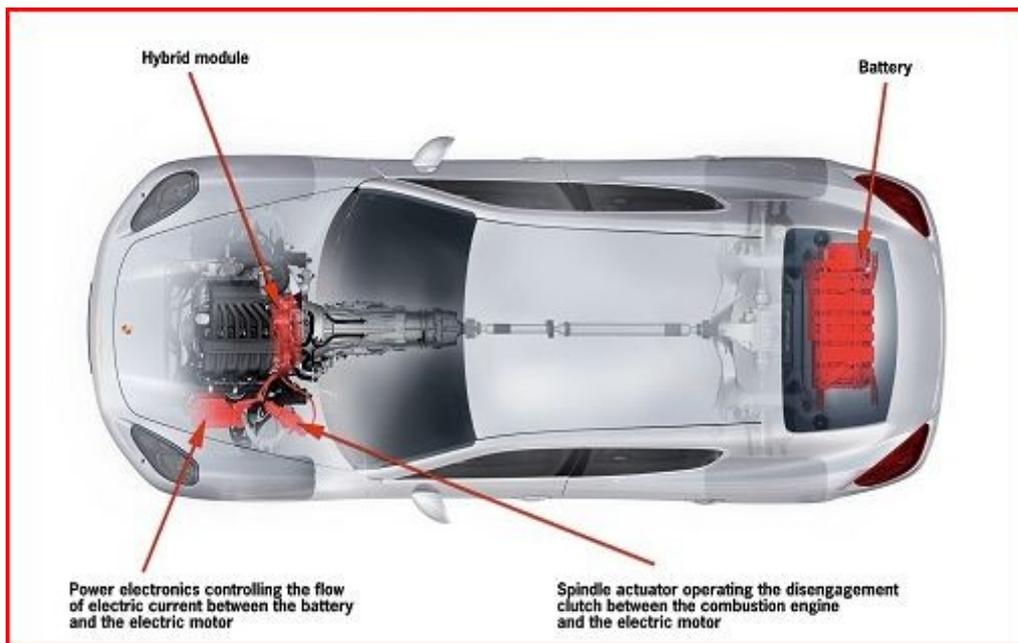
Particolarmente interessante è l'applicazione della funzione "Stop&Start" del propulsore termico, ovvero il motore si spegne quando non serve (es. attesa al semaforo), per poi riaccendersi automaticamente quando si premono l'acceleratore o il pedale della frizione.

I vantaggi rispetto una vettura tradizionale sono una ricarica parziale della batteria tramite l'alternatore sfruttando l'energia dispersa in fase di ogni decelerazione e un consumo ridotto del 5%, che può aumentare sensibilmente con uso prevalentemente cittadino. Il sistema Stop&Start si sta notevolmente diffondendo tra i modelli di auto in vendita.

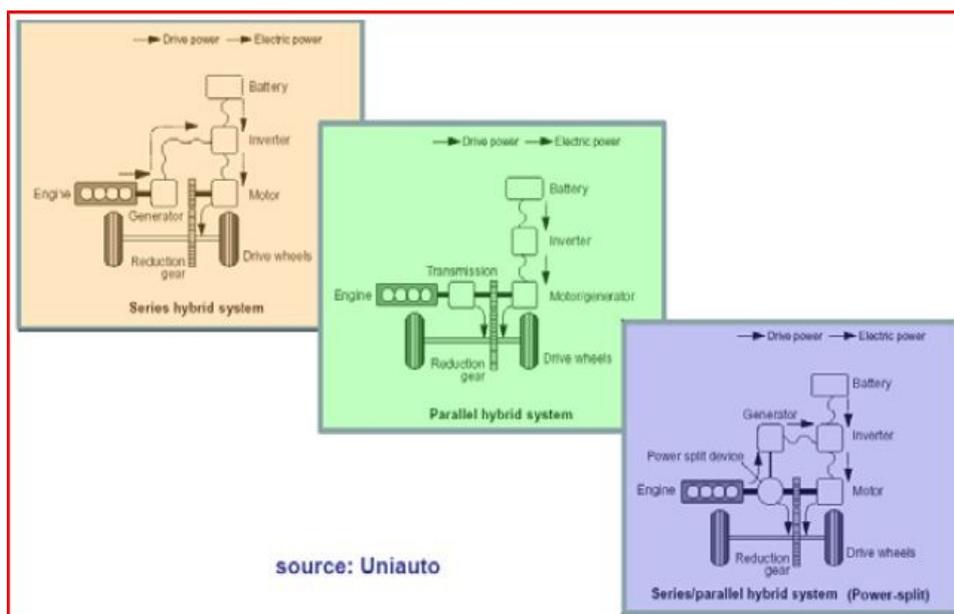
Il passo successivo rispetto al microibrido è rappresentato dalle vetture denominate mild hybrid: il loro impianto elettrico è composto da motori elettrici da 10-15 KW alimentati da batterie NiMH o al Litio da 42 a 150 Volt. Il propulsore termico, oltre a sfruttare la funzione Stop&Start, viene aiutato da quelli elettrici in fase di accelerazione. Ogni volta che l'auto subisce una decelerazione, l'energia, altrimenti dispersa, viene recuperata e utilizzata per ricaricare le batterie.

Le auto denominate full-hybrid sono le uniche in grado di viaggiare in modalità solo elettrica, anche se a volte solo a bassa velocità (50 - 60 Km/h) grazie a motori elettrici e batterie più potenti. Questa caratteristica può essere sfruttata principalmente in città, ed è proprio per questo motivo che le auto ibride godono di incentivi statali e possono circolare liberamente anche in quelle città in cui vigono limitazioni al traffico. Attualmente i tragitti percorribili con la sola trazione elettrica sono molto limitati, in genere non più di qualche chilometro, a causa della limitata capacità delle normali batterie. Tutti i costruttori stanno eseguendo test su prototipi alimentati con batterie al Litio (come quelle dei cellulari) che hanno il vantaggio di avere un'autonomia superiore ma lo svantaggio di essere troppo costose per un immediato impiego sulle auto di serie. Grazie alle vantaggiose caratteristiche delle batterie al Litio è nata anche una nuova generazione di auto ibrida, quella elettrica con un motore termico "di scorta". In queste auto il funzionamento è garantito esclusivamente dai motori elettrici, quello termico è usato esclusivamente per ricaricare le batterie in caso la loro potenza diventasse insufficiente e non si potesse provvedere ad una ricarica tempestiva. Per questo motivo restano ancora "ibride" nonostante la trazione possa essere garantita dal solo lato elettrico.

Gli ibridi split sono caratterizzati come veicoli a quattro ruote motrici, con due sistemi di trazione indipendenti, uno termico ed uno elettrico, utilizzati separatamente o contemporaneamente. Tale configurazione ha, rispetto alle precedenti fino ad ora analizzate, una grande elasticità di funzionamento ma è fortemente penalizzata dai pesi e dagli ingombri di due motorizzazioni indipendenti. Inoltre l'impatto ambientale nel caso di funzionamento del solo motore termico è pari a quello di un veicolo convenzionale. Applicazioni in questo senso sono state sviluppate solo a livello prototipale dalle case automobilistiche.



[Fig 2.4]

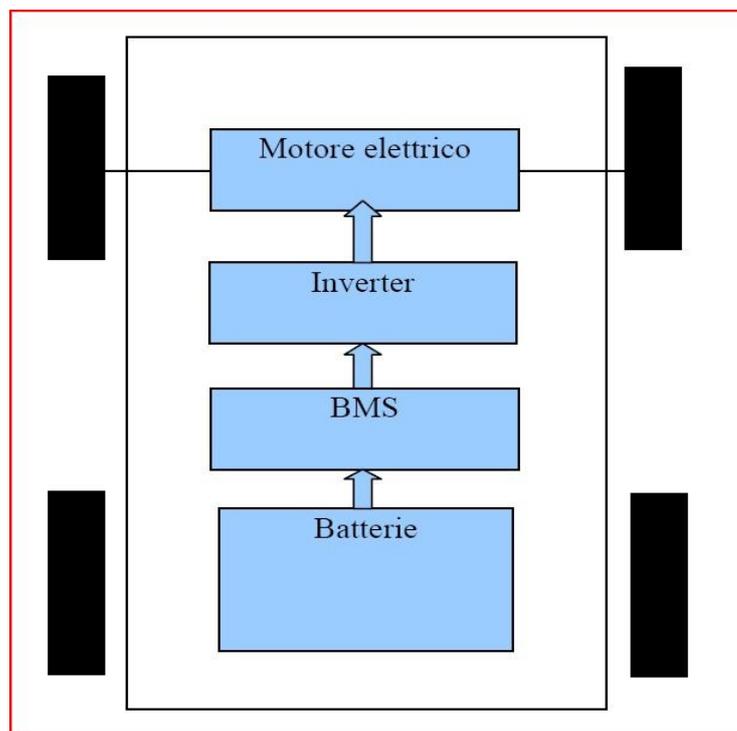


[Fig 2.5]

CAP. 3 IL VEICOLO ELETTRICO: STRUTTURA

3.1 Generalità e rendimento

L'auto elettrica pura impiega esclusivamente il motore elettrico per la trazione utilizzando energia proveniente da un sistema di batterie elettriche con notevoli vantaggi in affidabilità, sicurezza, silenziosità e pulizia. In figura è riportato lo schema base del veicolo:



[Fig 3.1]

Per quanto riguarda le batterie, esse verranno specificatamente discusse nel paragrafo seguente.

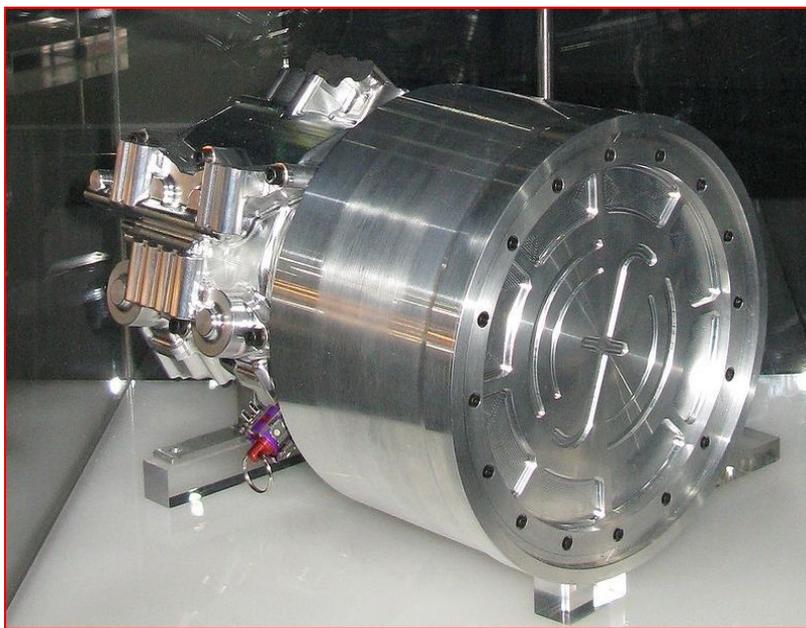
Un sistema detto BMS (dall'inglese battery management system, sistema per la gestione delle batterie) si occupa di controllare le batterie durante le fasi di carica e scarica, in modo da evitare un danneggiamento delle stesse. Quando il veicolo richiede potenza, il BMS gestisce la fase di scarica della batteria. Tra i parametri fondamentali che il BMS tiene monitorati, riportiamo i principali:

- Voltage: voltaggio valutato su intervalli periodici, viene monitorato sia il voltaggio totale che quello sulle singole celle;
- State Of Charge (SOC) or Depth Of Discharge (DOD): indicano il livello di carica e la conseguente autonomia;
- State Of Health (SOH): attraverso una misurazione di vari parametri viene fornito lo stato di salute generale della batteria.
- Temperature;
- Current: corrente in entrata o in uscita;

Dato che le batterie forniscono corrente continua e normalmente si preferisce utilizzare motori a

corrente alternata , tra questi due sistemi viene posto un inverter che ha appunto la funzione di portare la corrente da continua in alternata.

Il motore elettrico è generalmente in presa diretta, evitando così sistemi di cambio e frizione. Grazie al fatto che il motore può fungere da generatore, è possibile il recupero di parte dell'energia cinetica del veicolo durante le fasi di frenata (“Kinetic Energy Recovery System“), e dell'energia potenziale durante le discese.



[Fig3.2] (Sistema per il recupero dell'energia)

Uno dei maggiori punti di forza dell'auto elettrica rispetto a quella a combustione, è senz'altro il rendimento. Infatti, considerando la filiera che porta dalla sorgente alla ruota per questi due principali tipi di autovettura, abbiamo:

- per il motore endotermico (raffineria + distribuzione + uso finale): rendimento complessivo pari al 16,88% per i motori ad accensione comandata e del 24,19% per i motori ad accensione spontanea;
- per il motore elettrico (generazione + distribuzione + conversione in batteria + uso finale): rendimento complessivo pari al 42,03%, in particolare il solo motore elettrico ha un rendimento di oltre il 90%.

3.2 Batterie

Abbiamo quindi intuito come il problema per i veicoli elettrici abbia solo un nome: serbatoio, e di conseguenza autonomia e modalità di rifornimento. La benzina ha una densità energetica di ben 45 MJ/kg mentre la più performante batteria arriva a 0,5 MJ/kg. L'evoluzione dell'auto elettrica intesa come mezzo di trasporto di massa è, dunque, sostanzialmente strettamente legata all'evoluzione

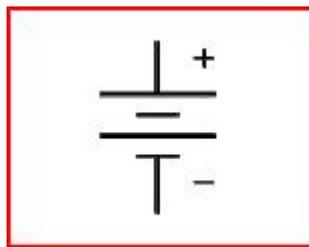
degli accumulatori di energia elettrica.

3.2.1 *Gli accumulatori elettrochimici*

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

In pratica esistono dei dispositivi che riescono a convertire l'energia chimica in energia elettrica. La conversione 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. Le varie tipologie verranno trattate nel prossimo paragrafo.



[Fig. 3.3] (Simbolo elettrico della batteria)

Un accumulatore è composto da :

- Due elettrodi, uno positivo e uno negativo,
- Un elettrolita, consente il trasporto degli elettroni da un polo all'altro,
- 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 può essere costituita da 6 elementi da 2 volt collegati in serie. I parametri principali che descrivono potenzialità e funzionamento di un accumulatore elettrochimico sono:

-Capacità (C): Si misura in Ampère-ora (Ah) e rappresenta la quantità di carica elettrica che può essere immagazzinata, la Capacità è data dal prodotto dell'intensità della corrente erogata per il tempo necessario perché l'accumulatore si scarichi fornendo continuamente quella data corrente (1 Ah=3600 coulomb).

Per ottenere l'energia in wattora è necessario moltiplicare la capacità in Ah per la tensione nominale. Una batteria da 1 Ah può erogare una corrente di 0,1 ampere per dieci ore prima di scaricarsi. In realtà la capacità reale è molto dipendente dal tasso di scaricamento, C decresce con l'aumentare della corrente richiesta. Per questo una batteria da 1 Ah solitamente non riesce a fornire 1 ampere per un'ora.

-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, ricordando che dimensionalmente vale $[A]=[C/t]$.

-Energia specifica: energia che può essere erogata dall'accumulatore per unità di massa (Wh/kg) o per unità di volume (Wh/dm³), una volta ricavata l'energia in Wh basta semplicemente dividere per l'ingombro della batteria oppure per la sua massa.

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

-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). Un parametro significativo delle batterie per veicolo elettrico è la **potenza di picco specifica**, che identifica la capacità di accelerazione del veicolo elettrico. Essa è definita come la potenza per unità di peso che il sistema di accumulo è in grado di sostenere per 30s con un valore del DOD ("Depth of Discharge" è la quantità di carica erogata rapportata alla capacità nominale della batteria, espressa in percentuale) dell'80%, cioè con batteria quasi scarica.

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

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

-Durata di vita: dipende fortemente dalle condizioni di funzionamento dell'accumulatore e quindi può essere assegnata solo per determinate condizioni di carica/scarica che vanno specificati.

-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 questo fenomeno bisogna allora ciclare (caricare e scaricare) completamente la batteria almeno una volta ogni due o tre settimane.

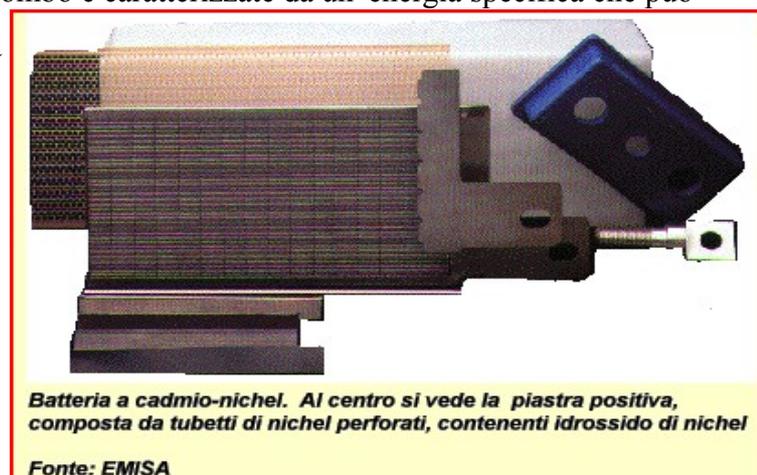
Le batterie al Litio non presentano questo problema in quanto le dimensioni dei grani o della struttura cristallina dei materiali elettrodici, non subiscono alcuna modifica.

3.2.2 Tipologie delle batterie

In passato le batterie più utilizzate erano quelle al **piombo**, che tuttavia hanno un’energia specifica troppo bassa (20-40 Wh/kg) e dovendo limitare pesi e volumi non possono garantire una sufficiente autonomia al veicolo; esse presentano inoltre tempi di ricarica medio-lunghi ed elevata sensibilità alle condizioni ambientali.

Gli accumulatori **nichel-cadmio** sono i più diffusi dopo il piombo. Sono batterie robuste , con prestazioni superiori a quelle al piombo e caratterizzate da un’ energia specifica che può

arrivare anche a 50 Wh/kg. Tuttavia la presenza di cadmio all’elettrodo negativo ne ha limitato fortemente la diffusione. Esso presenta infatti un’elevata tossicità e richiede un accuratissimo processo di recupero e riciclo al fine di evitare rilasci nell’ambiente. Negli ultimi vent’anni sono stati sviluppati gli accumulatori



nichel-idruri metallici al fine di ridurre l’impatto ambientale del cadmio e ottenendo anche maggiori energie specifiche. Sono oggi utilizzate a bordo di veicoli ibridi ma il costo elevato della materia prima e le prestazioni insufficienti per applicazioni plug-in ne limiteranno la penetrazione. Tra le tecnologie di accumulo in forte fase di sviluppo, la più promettente per la trazione veicolare

sembra essere quella degli accumulatori al litio-ioni.

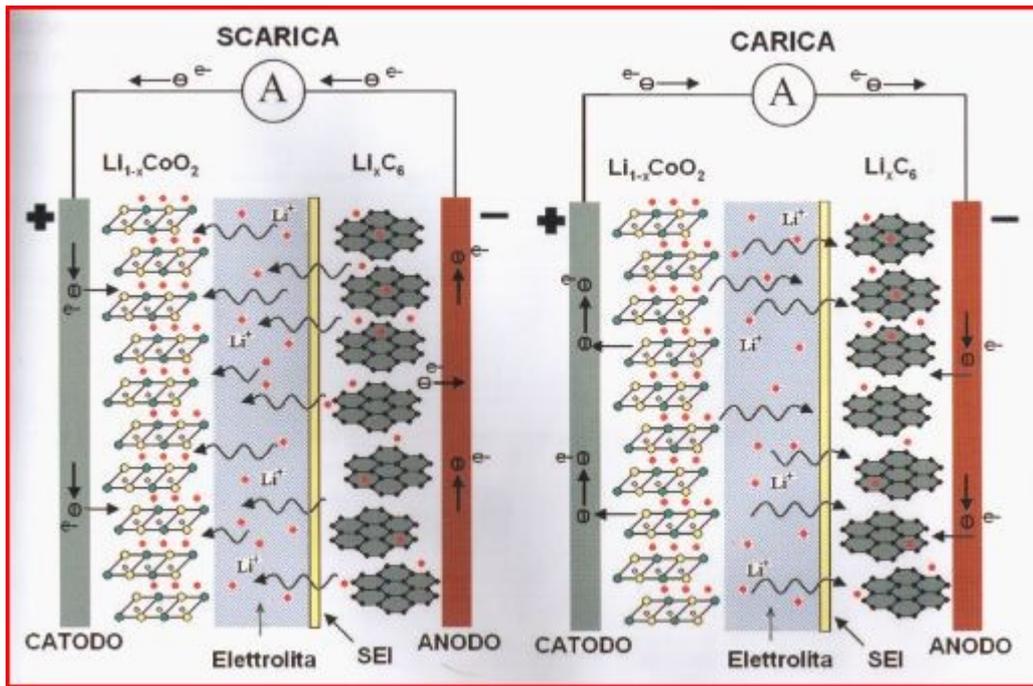
3.2.3 La tecnologia degli accumulatori al litio

Il litio è molto diffuso in natura, purtroppo però, a causa della sua reattività, non si trova allo stato metallico ma solamente legato ad altri elementi. Quasi il 50% delle riserve commercialmente sfruttabili di litio si trovano in sud America. Grazie al basso peso atomico e la capacità specifica molto alta, è uno degli elementi più adatti per lo sviluppo di batterie con elevata energia specifica.

Le batterie al litio possono essere divisi in tre principali tipologie:

- batterie agli **ioni di litio** con elettrolita liquido: sono quelle più mature e diffuse;
- batterie **litio ioni-polimeri**: hanno un elettrolita solido di tipo polimerico e presentano minori rischi in termini di sicurezza;
- batterie **litio metallo-polimeri**: il litio è in forma metallica allo stato liquido e presentano maggiori problemi di sicurezza, il loro sviluppo è ancora arretrato.

Il principio di funzionamento: Il polo positivo (catodo) riceve gli elettroni durante la scarica e viceversa li fornisce durante la carica, il polo negativo (anodo), al contrario, fornisce elettroni durante la scarica e viceversa li riceve durante la carica. In una batteria litio-ioni il catodo è solitamente costituito da un ossido litiato di un metallo di transizione, che garantisce una struttura a strati o a tunnel, dove gli ioni-litio possono essere inseriti ed estratti con facilità. L'anodo è generalmente costituito da grafite allo stato litiato e l'elettrolita da sali di litio in solvente organico. La membrana separatrice è costituita da polietilene o polipropilene. In tutte le batterie al litio durante le reazioni di ossidoriduzione associate ai processi di carica e scarica, gli ioni-litio migrano da un elettrodo all'altro reversibilmente. Quando la cella è completamente scarica tutto il litio presente è contenuto nel catodo. Durante il processo di carica dell'accumulatore lo ione-litio viene estratto dall'ossido metallico costituente il catodo e trasferito all'anodo attraverso il circuito esterno, il metallo del catodo viene quindi ossidato. All'anodo, il processo di carica determina l'intrappolamento dello ione litio, che si riduce a litio nella matrice di grafite acquisendo gli elettroni provenienti dal circuito esterno. Durante il processo di scarica invece il Li intercalato nella matrice di grafite si ossida rilasciando all'esterno gli elettroni mentre gli ioni litio migrano attraverso l'elettrolita al catodo che viene ridotto. Durante il primo ciclo di carica, oltre al trasferimento degli ioni litio alla grafite, si forma anche uno strato passivante tra elettrolita ed elettrodo negativo, chiamato SEI: Solid-Electrolyte Interface. Questo strato è importante per le prestazioni delle batterie poiché influenza il numero di cicli, la capacità e la sicurezza.

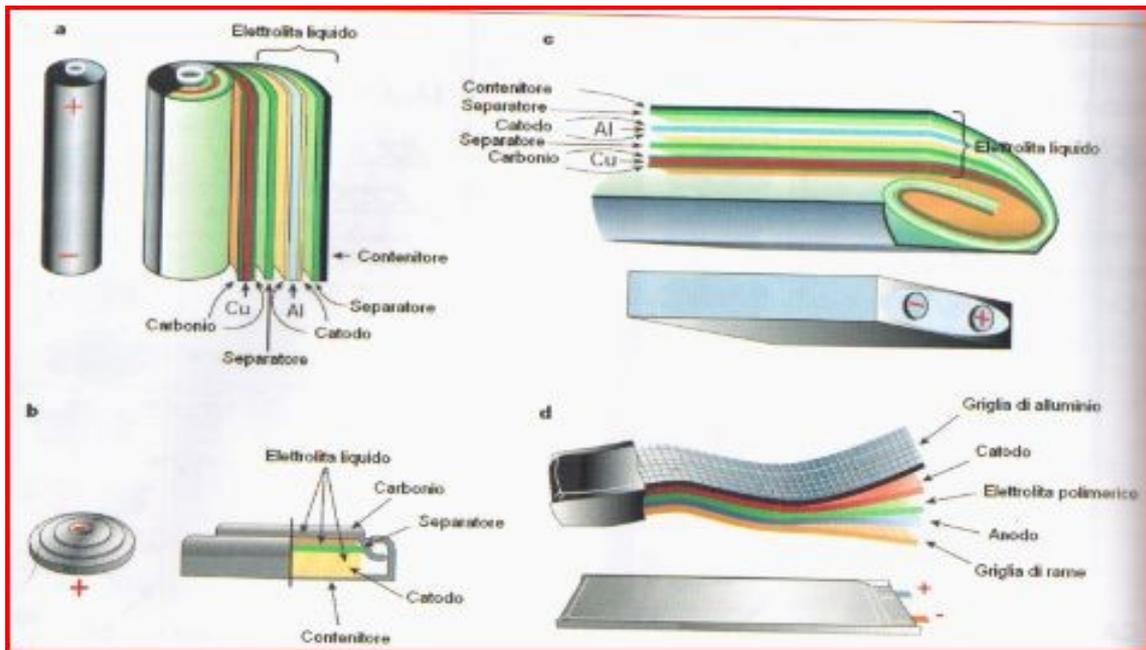


[Fig 3.5] (Processi elettrochimici all'interno di una batteria litio-ioni durante le fasi di carica e scarica)

L'elettrolita: è composto tipicamente da sali di litio disciolti in un solvente organico. Esso deve permettere una buona conduzione degli ioni, rimanere liquido in un ampio intervallo di temperature ed essere sicuro e non tossico. Qualora le batterie non siano gestite accuratamente, la presenza di un elettrolita liquido può dar luogo ad effetti di corrosione e/o alla produzione di combustibili. Questi in convenienti stanno spingendo sempre più allo sviluppo di celle al litio in cui l'elettrolita è presente in forma polimerica, esse garantiscono le medesime prestazioni dell'elettrolita liquido ma con un maggiore grado di sicurezza intrinseca.

Struttura delle celle al litio-ioni: presentano una struttura costituita da strati sovrapposti tra loro permettendo la semplificazione del processo produttivo. Le celle con elettrolita liquido possono essere realizzate con struttura cilindrica, prismatica, a bottone, mentre le celle polimeriche sono piatte. Le celle cilindriche presentano una vita attesa più lunga e un costo inferiore rispetto a quelle con struttura prismatica, ma hanno anche una minore densità energetica.

Come già visto precedentemente, tutti questi tipi di batterie al litio vengono accuratamente gestiti attraverso il sistema di monitoraggio e di gestione della batteria (BMS)



[Fig 3.6] (Strutture tipiche di celle litio-ioni: a) cilindrica, b) bottone, c) prismatica, d) piatta)

3.3 Motore elettrico per veicoli elettrici

Nella scelta e progettazione di un sistema di propulsione elettrica per veicoli elettrici, come in generale per tutti i veicoli stradali, si cerca di realizzare una caratteristica meccanica il più possibile vicina a quella ideale iperbolica, con potenza costante all'aumentare della velocità (traccia verde Fig 3.7) e con una regione iniziale a coppia costante (traccia viola Fig 3.7).

Mentre per i motori a combustione interna questo richiede l'installazione di una scatola del cambio nel caso del motore elettrico ciò non è necessario. Adottando dei sistemi di controllo si possono ottenere precise regolazioni di coppia e velocità a seconda delle condizioni operative in cui ci si trova.

Le tipologie di motori utilizzati nella trazione elettrica sono:

□ MOTORI IN C.C.

Utilizzati inizialmente per la propulsione elettrica a causa delle ridotte esigenze di regolazione, hanno oramai un utilizzo limitato negli apparati di bordo del veicolo come tergicristalli, ecc..

□ MOTORI ASINCRONI A GABBIA DI SCOIATTOLO (C.A.)

I motori ad induzione sono molto robusti ed hanno un basso costo; per contro risultano avere una bassa efficienza e coppia specifica (coppia per unità di massa).

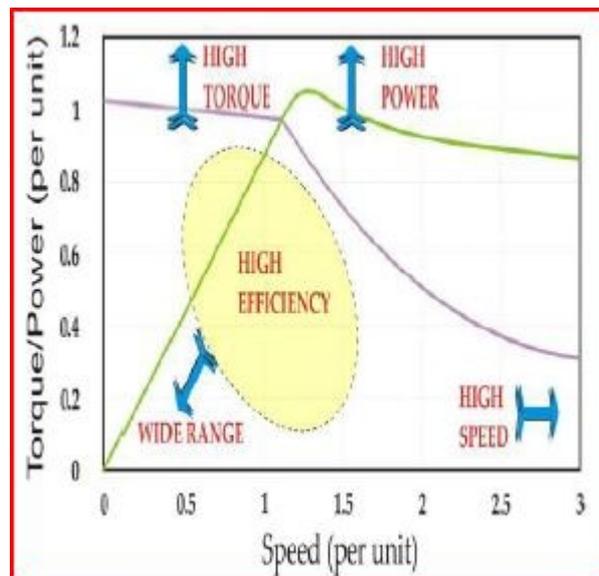
□ MOTORI SINCRONI (C.A.)

Mantengono un'elevata efficienza in un ampio campo di funzionamento, e come i motori in c.c., possono essere deflussati e richiedono una maggiore manutenzione per via delle spazzole

di alimentazione dell'avvolgimento di eccitazione.

□ MOTORI SINCRONI A MAGNETI PERMANENTI (C.A.)

È la categoria più promettente nel campo della trazione elettrica grazie soprattutto ai notevoli sviluppi che stanno interessando il settore dei magneti permanenti: l'assenza dell'eccitazione convenzionale aumenta il rendimento della macchina, inoltre la coppia specifica è molto elevata. Per contro non è possibile, in caso di guasto, escluderlo completamente.



[Fig 3.7] (Caratteristica meccanica ideale per la trazione stradale)

CAP. 4 INFRASTRUTTURE DI RICARICA

4.1 Connessione veicolo – rete elettrica

Prima di passare in dettaglio i vari tipi di connessione è bene ricordare alcuni punti preliminari alla base del sistema delle ricariche. Per quanto riguarda la rete elettrica:

- tutto il sistema si basa su corrente alternata (c.a.) operante a 50 Hz;
- la fornitura di energia elettrica all'utente viene effettuata ad una certa tensione nominale.

Il sistema di alimentazione di un veicolo elettrico possiede, invece, le seguenti caratteristiche generali:

- la batteria di trazione, che costituisce il sistema elettrico primario di un veicolo, è tipicamente un generatore di corrente continua (c.c.);
- la tensione lato continua varia con lo stato di carica della batteria e con la potenza in ingresso alla batteria;
- il sistema elettrico secondario del veicolo (generalmente accumulatore a 12V), che permette il funzionamento di sistemi ausiliari è normalmente alimentato dal sistema elettrico primario.

Ne consegue che per alimentare un veicolo elettrico dalla rete è necessario:

- trasformare la corrente alternata fornita dalla rete elettrica in corrente continua utilizzabile dalle batterie;
- regolare la tensione applicata alla batteria per la ricarica;
- permettere la connessione “fisica” tra la rete elettrica e la batteria, in maniera semplice e sicura.

I primi due punti sono svolti dal carica batteria vero e proprio, che si occupa del controllo del processo di ricarica.

4.1.1 Carica batteria “a bordo” o “a terra”

Il carica batteria è costituito da un insieme di componenti che garantiscono il controllo del processo di ricarica. Questo apparecchio può essere abbastanza semplice nel caso di ricarica “lenta”, mentre per la ricarica “rapida”, dove le potenze coinvolte sono particolarmente elevate, la strumentazione di controllo richiesta è più sofisticata. Una distinzione importante, soprattutto per le implicazioni in fase di progettazione e realizzazione dei veicoli, è quella tra carica batteria “a bordo” e carica batteria “a terra”. A seconda di dove fisicamente viene posizionata la strumentazione per la ricarica della

batteria, si parlerà di:

- “Carica batteria a bordo”, se i componenti per la ricarica e il controllo del processo di ricarica sono integrati nel veicolo. Con veicoli dotati di carica batteria a bordo la stazione di ricarica deve essere in grado, in via di principio, solamente di fornire al veicolo la corrente elettrica. In alcuni casi, alla stazione di ricarica si richiede di essere in grado di interagire col carica batteria a bordo del veicolo, al fine di assicurare una ricarica sicura.

- “Carica batteria a terra”, se la strumentazione per il processo di ricarica è separata dal veicolo. Nella maggior parte dei casi i carica batteria cosiddetti a terra sono configurati per assistere la ricarica di particolari pacchi di batterie.

Specificheremo meglio nel seguito, parlando dei connettori e delle modalità di ricarica, in quali casi e per quali motivi si preferisce utilizzare una soluzione con carica batteria a bordo, piuttosto che una con carica batteria a terra.

Esistono anche carica batterie parzialmente a terra: questa è la situazione tipica della ricarica induttiva di cui si dirà nel seguito.

4.1.2 Modalità di connessione

Esistono tre modi per connettere un veicolo elettrico alla rete elettrica contemplati nella norma CEI-CENELEC ENV 50275-1:

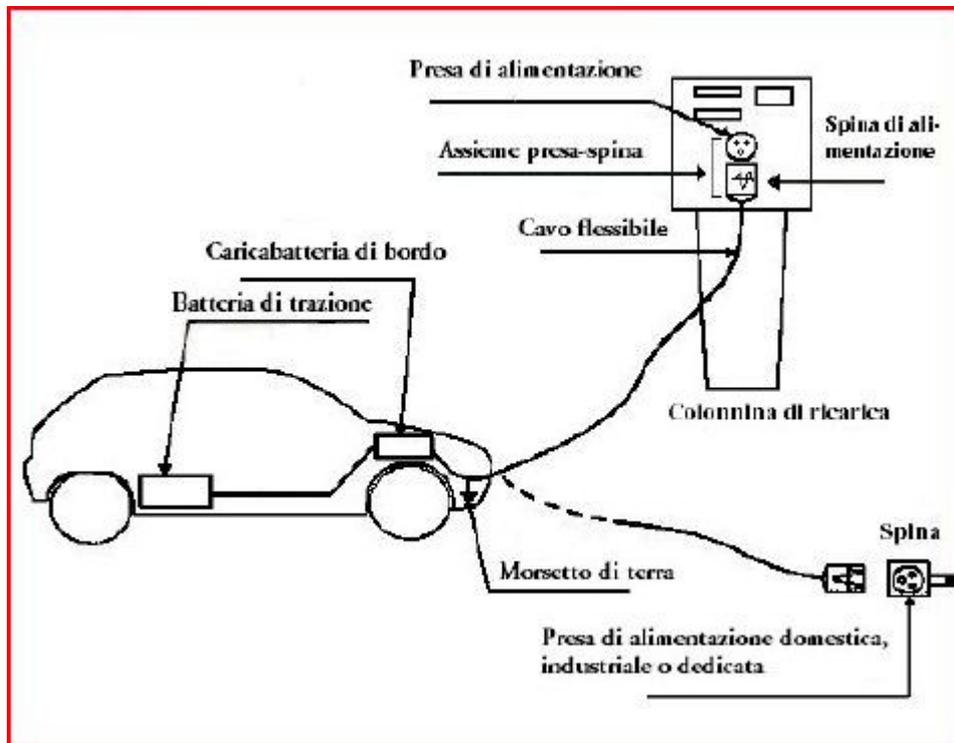
- Collegamento tipo A [Fig 4.1]: il cavo, dotato di connettore, è direttamente collegato al sistema di alimentazione. Al momento della ricarica si accoppia il connettore con la presa del veicolo (similmente agli attuali distributori di carburante).

- Collegamento tipo B [Fig 4.2]: il cavo di alimentazione dotato di connettore per collegarsi al veicolo ed eventualmente di strumentazione di controllo, non è collegato in maniera permanente al sistema di alimentazione né al veicolo.

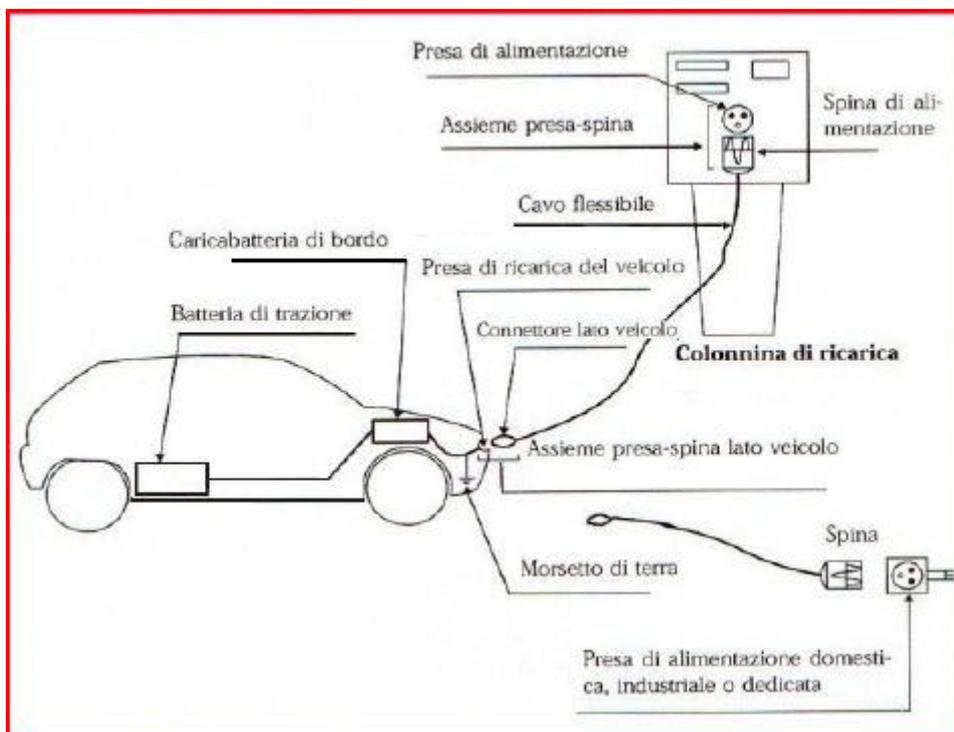
- Collegamento tipo C [Fig 4.3]: il cavo è direttamente collegato al veicolo. Al momento della ricarica si connette al sistema di alimentazione.

Ognuna delle tre possibilità ha vantaggi e svantaggi. Il cavo di alimentazione a bordo permette di effettuare più agevolmente ricariche in posti diversi rispetto al punto di ricarica abituale. Le altre due alternative permettono di ridurre i costi, il peso e la complessità dei veicoli, specialmente nel caso di veicoli predisposti per la ricarica rapida per i quali i cavi di

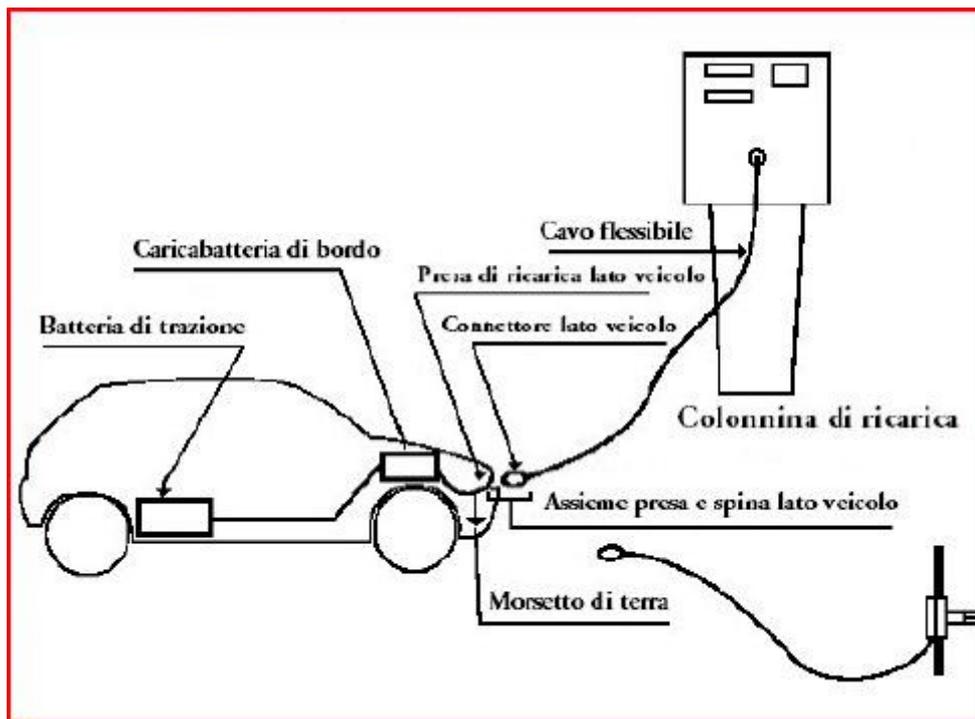
alimentazione risultano essere di più grandi dimensioni. Evidentemente, le configurazioni che prevedono il cavo di alimentazione a bordo e quelle che lo prevedono a terra possono essere tra loro incompatibili e questo contribuisce ad incrementare la complessità ed i costi dell'infrastruttura di ricarica.



[Fig 4.1]



[Fig 4.2]



[Fig 4.3]

4.1.3 La ricarica induttiva

Nella ricarica induttiva si trasmette l'energia dalla rete elettrica alla batteria per mezzo di un accoppiamento elettromagnetico come avviene fra il primario e il secondario di un trasformatore.

In questo modo il trasferimento di energia avviene senza bisogno di contatti metallometallo e in un contesto di isolamento elettrico che rende la ricarica particolarmente sicura.

L'accoppiamento induttivo fra la parte a terra e quella a bordo può essere fatto innestando manualmente la parte mobile nella parte fissa oppure senza intervento manuale, parcheggiando il veicolo in modo che si interfacci con la parte a terra.

La ricarica induttiva è indubbiamente molto sicura ma ha anche rendimento decisamente più basso rispetto alla ricarica via cavo.

4.2 Infrastrutture nel medio-breve termine

Ad oggi non esiste ancora uno standard per la realizzazione di infrastrutture di ricarica; esistono piuttosto varie alternative tecnologiche disponibili, ognuna con pregi e difetti. È facile prevedere che, nei prossimi anni, gli organismi di standardizzazione imporranno alcune norme comuni, ma molte altre decisioni dipenderanno dagli sviluppi della ricerca, dalle risposte del mercato, dalle iniziative dei governi o semplicemente da scelte pratiche.

Il seguito del paragrafo fornisce alcuni elementi utili per fare delle previsioni relativamente alla configurazione assunta dalle infrastrutture pubbliche nel breve e medio termine.

4.2.1 Ricarica lenta o ricarica rapida?

L'incognita che più impatta sulla configurazione, sul livello di servizio fornito, sui costi e sulla localizzazione dell'infrastruttura è sicuramente la scelta della modalità ricarica: lenta oppure rapida.

La ricarica rapida è certamente la soluzione più auspicabile, almeno in linea di principio, per l'indiscutibile comodità offerta agli utenti. Rimangono però alcuni dubbi circa gli effetti sulla vita media degli accumulatori. A questo proposito ci sono, tra gli esperti, pareri discordanti e le pubblicazioni a riguardo sono molto numerose, sia a favore che contrarie.

*I principali argomenti addottati da sempre contro ogni forma di ricarica rapida sono i seguenti:

- la ricarica rapida accorcia la vita delle batterie;
- la ricarica rapida sarebbe sfruttata per ricariche diurne e questo significa sovraccaricare la rete elettrica proprio nei momenti in cui già esistono picchi di domanda, creando problemi alle aziende elettriche;
- la ricarica rapida è costosa;
- la ricarica rapida è pericolosa a causa delle elevate potenze in gioco;
- non ci saranno mai stazioni pubbliche di ricarica in numero sufficiente per poter diffondere l'utilizzabilità delle ricariche rapide.

*Contro queste affermazioni i sostenitori delle ricariche rapide replicano:

- se il processo di ricarica viene opportunamente controllato e se il veicolo è stato progettato per supportare la ricarica rapida, la vita della batteria non viene accorciata;
- la ricarica rapida permette in modo semplice di accrescere l'autonomia giornaliera del veicolo;
- con la ricarica rapida le prestazioni delle batterie migliorano;
- l'efficienza energetica complessiva migliora dal momento che la ricarica rapida manca della parte finale a bassa resa energetica tipica della ricarica lenta;
- se si diffonde la ricarica rapida sui veicoli si possono utilizzare delle batterie più piccole e, quindi, meno pesanti, costose ed ingombranti;
- se un'adeguata rete di ricarica può essere decisiva per lo sviluppo del mercato del veicolo elettrico, soprattutto dal punto di vista dei consumatori, sicuramente la possibilità di avere ricariche rapide gioca in questo senso un ruolo di primo piano.

Senza entrare nel merito di ciascuna argomentazione pro o contro la ricarica rapida, si può senz'altro affermare che essa non pone problemi tecnici insormontabili ma richiede investimenti cospicui per implementarla ed un suo sfruttamento intensivo per renderla economicamente non penalizzante, ancora una volta quindi un problema politico.

4.2.2 Ricarica conduttiva o induttiva?

Una seconda fonte di incertezza riguarda la scelta della tecnologia per la connessione, che può essere conduttiva o induttiva. Entrambe le alternative hanno argomentazioni a proprio favore. Secondo i sostenitori della ricarica conduttiva, tale metodo è il più semplice e pertanto è quello più facilmente disponibile e meno costoso. D'altro canto i sostenitori della ricarica induttiva, stanno lavorando per cercare di ridurre i costi.

Il punto più critico per la ricarica induttiva, oltre a quello dei costi, riguarda l'efficienza complessiva del sistema. Il sistema di ricarica di tipo conduttivo è, indicativamente, tra il 4% e il 20% più efficiente di un sistema induttivo.

Nel complesso, la scelta tra sistema induttivo e conduttivo risulta di rilevante importanza se si pensa di realizzare un'infrastruttura pubblica di ricarica, visto che i due sistemi non sono tra loro compatibili. A meno di non voler costruire una doppia infrastruttura, con evidente aumento dei costi, è quindi fondamentale che i produttori di veicoli elettrici trovino un accordo sul sistema di ricarica da utilizzare. Attualmente si può dire che i veicoli diffusi in Europa utilizzano prevalentemente il sistema conduttivo, mentre in Giappone e, soprattutto, negli Stati Uniti la situazione è più variegata.

4.2.3 Colonnine isolate o stazioni di ricarica?

La scelta tra stazioni di ricarica e colonnine isolate è un'ulteriore incognita che, a differenza delle prime due, non riguarda le caratteristiche tecnologiche delle colonnine di ricarica, ma la configurazione del sistema infrastrutturale.

Con "stazione di ricarica" si intende un insieme di colonnine raggruppate in un luogo comune a formare, appunto, un'unica stazione. La stazione di ricarica prevede spesso la presenza di una colonnina madre che dialoga con le singole colonnine, le gestisce e provvede alle procedure di pagamento. Avere "colonnine isolate", invece, significa prevedere colonnine totalmente indipendenti l'una dall'altra, dislocate sul territorio in modo da creare una rete maggiormente distribuita. Entrambe le soluzioni presentano vantaggi e svantaggi che vanno presi in considerazione.

*Avere colonnine isolate significa:

- Permettere una maggiore copertura dell'area urbana. Distribuendo le colonnine in un numero elevato di punti diversi si può raggiungere un numero maggiore di utenti, assicurando ad ognuno la vicinanza di qualche colonnina e quindi un'elevata comodità d'uso.
- Non dover modificare le caratteristiche della fornitura elettrica per le nuove richieste di potenza. I requisiti di un singolo punto di ricarica, in termini di potenza

richiesta, sono infatti minimi e quasi tutti gli edifici sono in grado di fornire l'energia e la potenza necessarie, senza necessità di adeguamenti.

I principali problemi di questa soluzione sono legati alla difficoltà di sorvegliare punti sparsi, ai maggiori costi per i controlli e la manutenzione ordinaria, ad alcune difficoltà legate alla gestione dei pagamenti.

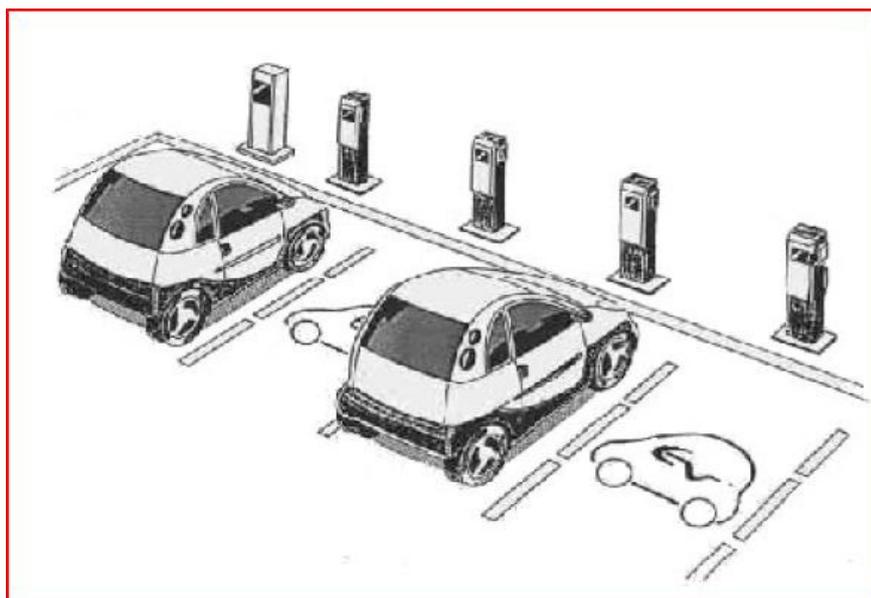
*Avere stazioni di ricarica significa:

- Ridurre il rischio per l'utente di trovare la colonna di ricarica occupata da qualche altro veicolo al momento del bisogno, visto che la stazione mette a disposizione dell'utente più punti di ricarica.

- Avere un maggior grado di sicurezza. Sorvegliare poche stazioni è più facile che sorvegliare molti punti sparsi, inoltre, se necessario, si può prevedere che la stazione sia chiusa da sbarre, con l'accesso permesso solo alle persone autorizzate.

- Poter adottare soluzioni tecniche e gestionali più complesse, ripartendo il costo su un numero maggiore di colonnine. Si pensi ad esempio al sistema per il controllo degli accessi, ai sistemi di pagamento in contanti, alla possibilità di avere stazioni prezenziate; tutte queste alternative sono improponibili per i punti di ricarica singoli perché economicamente ingiustificate.

Il principale problema di questa soluzione è quello di selezionare la localizzazione della stazione. La stazione deve essere in un punto il più accessibile e frequentato possibile e, allo stesso tempo, deve anche essere sufficientemente spazioso per contenere un certo numero di colonne di ricarica e altrettante auto elettriche parcheggiate.



[Fig 4.4] Esempio di stazione di ricarica con quattro colonnine semplici per la ricarica dei veicoli e una colonnina "madre" per il controllo degli accessi e la gestione dei pagamenti.

CAP. 5 IMPATTO SULLA RETE, PROBLEMATICHE

5.1 L'introduzione dei VE in Italia

Fin qui si è parlato del VE come sinonimo di veicolo a batterie ma per quanto si dirà nel seguito si potrà intendere con tale sigla anche altri tipi di veicoli con emissioni ridotte o nulle nel luogo di utilizzo quali i veicoli ibridi e i veicoli equipaggiati con celle a combustibile.

I numerosi esempi di parchi dimostrativi in Europa, negli USA e in Giappone sono serviti a mettere a punto alcuni aspetti tecnici e gestionali e sono stati molto utili per accrescere la “visibilità” del VE. Non pare però che questa possa essere la strada maestra per fare in modo che il VE contribuisca in maniera determinante per migliorare gli aspetti di inquinamento ambientale e di congestione delle città.

Le considerazioni che seguono saranno proprio nell’ottica di individuare una strategia che permetta al VE di contribuire sensibilmente alla sostenibilità ambientale.

Per la diffusione del VE si possono sostanzialmente ipotizzare due strategie:

- I. “infiltrarsi” nel sistema di trasporti preesistente;
- II. “forzare” il sistema di trasporti preesistente.

5.1.1 Infiltrazione nel sistema preesistente

I veicoli tradizionali vivono in strettissima interconnessione con l’organizzazione della rete stradale e autostradale, della rete di stazioni di rifornimento, della rete di vendita ed assistenza dei veicoli ecc. Questo stretto legame, che gode di qualche decennio di aggiustamenti ed ottimizzazioni, ha portato al raggiungimento di un equilibrio che sembra fortemente stabile ma che, in realtà, ha diverse criticità al presentarsi di qualche situazione problematica, richiudendosi a guscio ogni volta che si tenti qualche azione dall'esterno.

A parte questo ci sono dei problemi oggettivi che bisogna affrontare:

- scetticismo verso le nuove tecnologie che porta a denigrare le prestazioni spesso nettamente inferiori dei VE rispetto a quelli tradizionali, soprattutto per quanto riguarda l'autonomia;
- le nuove tecnologie non sono conosciute in tutta la loro potenzialità dagli utenti e pertanto vengono trascurate le implicazioni positive che potrebbero derivare dal loro utilizzo, perfino la convenienza economica;
- le nuove tecnologie hanno ancora margini sensibili di miglioramento per cui è necessario anche un processo di apprendimento sia da parte degli utenti che da parte degli operatori del sistema;
- un veicolo elettrico non può semplicisticamente sostituire un veicolo tradizionale perchè quest’ultimo è inserito in un sistema che gli dà l’assistenza e l’infrastruttura necessarie alla sua

operatività, che è nettamente differente. Non è infatti pensabile di usare integralmente per il VE l'infrastruttura progettata e costruita per il veicolo a combustione anche se alcune necessità sono comuni (ad esempio la manutenzione della meccanica del veicolo).

Le barriere che si frappongono all'introduzione del veicolo elettrico sono in gran parte, come già accennato, erette dal sistema preesistente che reagisce in maniera spesso imprevedibile per difendere gli ingenti interessi economici in gioco, anche con la pratica dell'acquisizione di importanti brevetti nel campo dei veicoli elettrici. Si pensi agli interessi delle compagnie petrolifere che vedono minacciato il mercato dei combustibili liquidi. Questo tipo di resistenze sono destinate ad affievolirsi anche per l'ipotesi di rifornire direttamente con idrogeno i veicoli con celle a combustibile. Si può pensare che siano le compagnie petrolifere a produrlo e a fornirlo presso le stazioni di rifornimento. E' anche pensabile che le attuali stazioni di rifornimento vengano attrezzate per la ricarica lenta o anche rapida degli accumulatori del VE, sfruttando quindi la capillarità delle attuali strutture.

In questo panorama dominato da tecnologie dipendenti dal petrolio si può pensare da un lato di avere tecnologie sempre più pulite (anche sulla base di prescrizioni tecniche relative alle emissioni sempre più stringenti) e dall'altro di avere parchi dimostrativi di VE sempre più numerosi. Per questa strada si può pensare di arrivare a un totale di pochi percento (5÷10%) di veicoli a basso impatto ambientale con effetti modesti, ma comunque importanti, sulle emissioni. In questa ottica si può pensare all'introduzione del VE sia in parchi aziendali che come seconda, o addirittura terza, auto di famiglia.



[Fig 5.0]

5.1.2 Forzare il sistema attuale

Questa seconda opzione, che ovviamente prevede ancora che i veicoli tradizionali siano soggetti a tutti i miglioramenti tecnici possibili per quanto riguarda la riduzione delle emissioni, è basata su una più massiccia ed incisiva introduzione di veicoli alternativi (elettrici a batteria, elettrici a fuel-cell, ibridi, a metano) attraverso anche massicci interventi monetari, in termini di strutture ed incentivi, da parte dello stato. La presenza più numerosa di VE rispetto a quella prevista nello scenario del paragrafo 5.1.1 e le loro prestazioni possono far ipotizzare un cambiamento di abitudini e di stile di vita dell'utente.

Si può ipotizzare e realizzare un miglioramento della loro interfacciabilità con altre forme di trasporto esistenti, predisponendo stazioni di ricarica in punto di maggiore interesse, venendo a meno i problemi di sicurezza delle tradizionali stazioni di rifornimento.

Questo scenario è di più lungo termine rispetto al precedente e il suo sviluppo, per poter avere effetti sensibili, lo si può posizionare su un arco temporale di almeno 10 anni. Dopo tale periodo potrebbe essere molto più chiara la situazione di sviluppo e di prospettive di nuovi tipi di accumulatori elettrochimici, si saranno capite le reali possibilità offerte da un uso su larga scala delle celle a combustibile (prestazioni, costi, durate di vita, problemi di sicurezza stradale) e si avranno dati derivanti da usi più “real life” di dispositivi in fase di forte sviluppo.

La messa in atto di questo scenario in realtà richiede una politica molto forte con decisioni che potrebbero essere impopolari e che perciò potranno essere accettate solo se si riuscirà a convincere l'opinione pubblica della gravità della situazione. Si richiede anche un cambiamento di abitudini che portino ad un ritorno al trasporto pubblico dopo che per decenni, è cresciuto esponenzialmente il trasporto privato.

5.1.3 Scenario tecnologico “Auto Elettrica” (Base + diffusione auto el. Plug-in)

- Mobilità elettrica: Quanti veicoli elettrici circoleranno sulle nostre strade nei prossimi anni?
- Sviluppo del sistema elettrico: Quante nuove centrali bisognerà costruire per alimentare la mobilità elettrica?
- Emissioni e qualità dell'aria: La mobilità elettrica aiuterà in modo significativo a ridurre le emissioni di gas serra ed a migliorare la qualità dell'aria nella città?
- Rete di distribuzione: La ricarica dei veicoli elettrici rischia di sovraccaricare la rete di distribuzione?
- Normativa e regolazione: Quali norme tecniche e quali profili tariffari ed incentivi occorrerà sviluppare per la mobilità elettrica?
- Integrazione rinnovabili: Sarà possibile sfruttare la capacità di accumulo di una flotta di veicoli per aiutare l'integrazione in rete di sorgenti rinnovabili di energia? (a tal riguardo, capitolo smart grid e V2G)

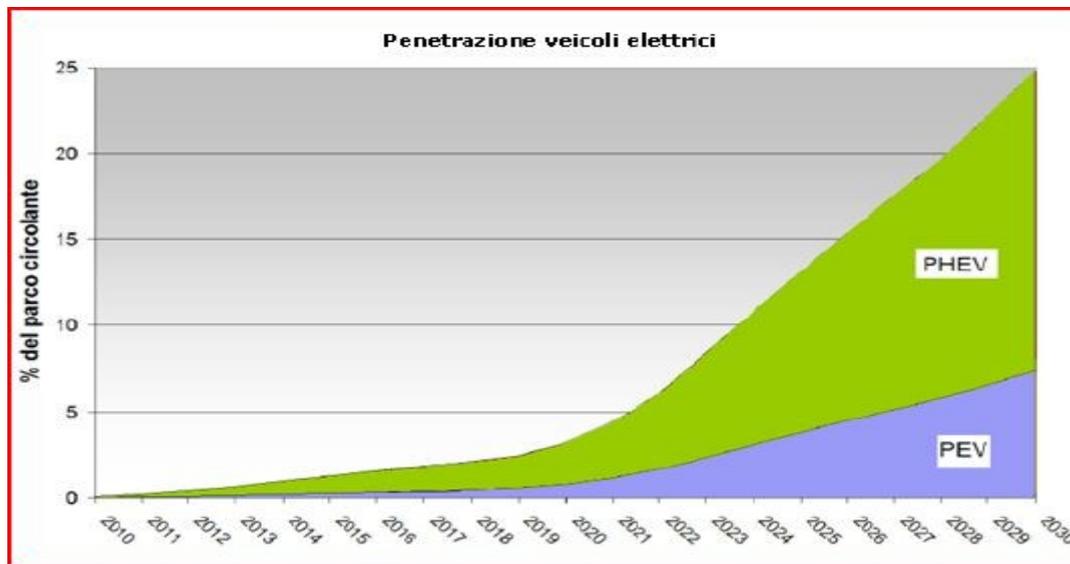
- **Tecnologia:** Ma i veicoli elettrici funzionano davvero? Che prestazioni avranno le batterie dei veicoli del futuro, e che autonomia garantiranno?

Vediamo ora i risultati a cui ha portato uno studio ERSE: “*Valutazioni dell’impatto dell’inserimento di veicoli elettrici stradali plug-in sulla rete di distribuzione*”.

Esso si basa, nell’ottica di uno scenario del tipo descritto in 5.1.2, sulle seguenti ipotesi:

- percorrenza annua media per autovettura 15.000 km;
- assorbimento giornaliero 15 kWh;
- tempo di ricarica completa 6 h;
- efficienza di ricarica 90%;

con un parco vetture circolanti del 25% tra PEV (Plug-In Electric Vehicles) e PHEV(Plug-In Hybrid Electric Vehicles), [Fig 5.1], e quindi circa 10 milioni di veicoli al 2030.

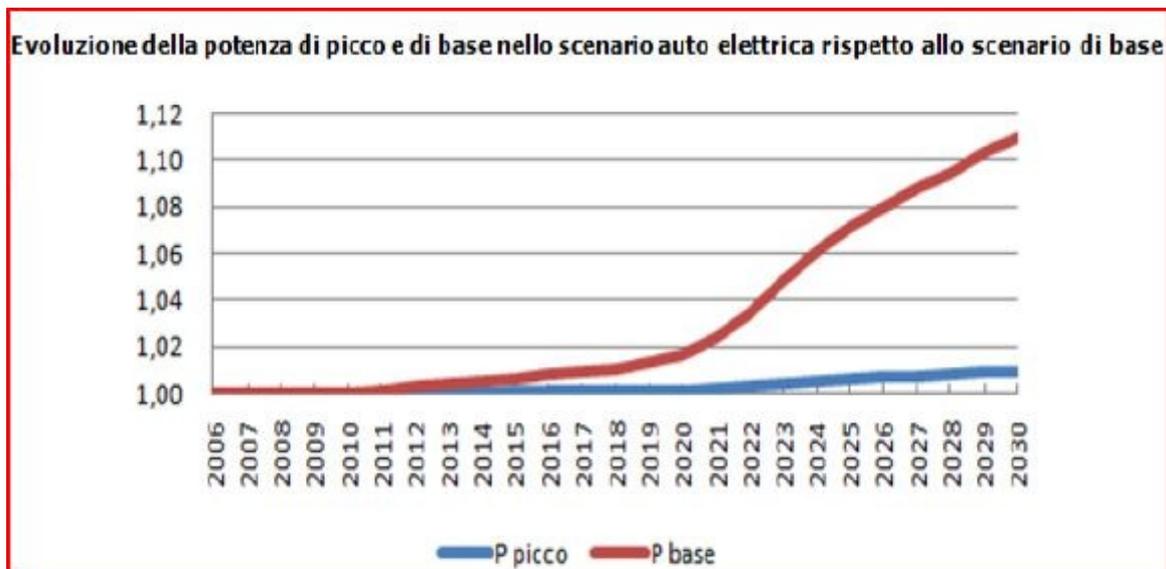


[Fig 5.1]

Secondo questo studio, ciò comporterebbe un aumento di +17 Twh (linea continua con punto in figura 5.2) rispetto allo scenario base (linea tratteggiata in figura 5.2).

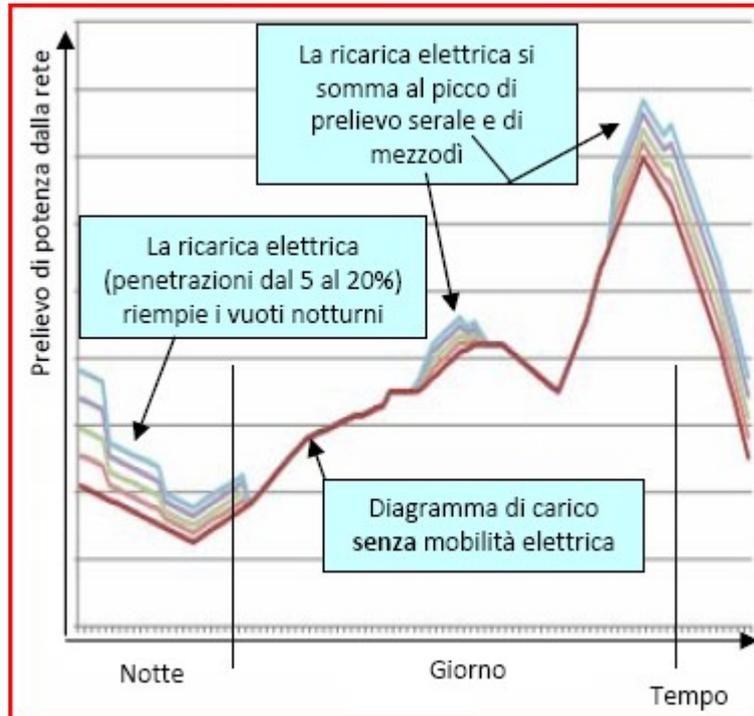


[Fig 5.2]



[Fig 5.3]

Rilevante sarà l'impatto sulla rete di distribuzione. Occorre innanzitutto verificare che i flussi di potenza non provochino cadute di tensione lungo i rami della rete di bassa tensione al di fuori dei valori consentiti dalle regole di fornitura e che non vengano superati i valori di dimensionamento dei principali componenti della rete (trasformatori e linee elettriche aeree ed in cavo). Le prime valutazioni portano ad evidenziare come sia fondamentale adottare misure di ottimizzazione dei prelievi di potenza [Fig 5.4] per evitare che l'aggiunta del carico dovuto alla ricarica dei veicoli elettrici non vada ad innalzare il livello di picco dei prelievi serali, specialmente per le utenze residenziali.



[Fig 5.4]

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

Come già detto, la diffusione dei VE sarà non solo un vantaggio ambientale ed economico, ma anche un 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.

Analizzeremo ora il problema attraverso uno studio del CESI che ha analizzato queste tematiche. 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, le più interessate dal fenomeno. 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.

Durante la trattazione utilizzeremo i seguenti acronimi:

VN: Tensione nominale della rete elettrica di distribuzione,

SN: Potenza apparente nominale del trasformatore,

BT: Bassa Tensione (si assume $VN = 400 \text{ V}$; per la Normativa $VN \leq 1 \text{ kV}$),

MT: Media Tensione (si assume $VN = 20 \text{ kV}$; per la normativa $1 \text{ kV} < VN \leq 35 \text{ kV}$),

AT: Alta Tensione (si assume 150 kV ; per la normativa $35 \text{ kV} < VN \leq 230 \text{ kV}$),

- 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.

- 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:

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

[Fig 5.5]

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:

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

[Fig 5.6]

Carico rappresentato dal VE: Si assume che il carico sia alimentato dalla rete di distribuzione BT del sistema urbano residenziale. Per capire l'influenza che può avere sulla rete l'insieme di tutti i VE, 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, i dati sono riferiti ad una provincia di media grandezza.

-Numero di households (utenti) per modulo di BT: nel sistema urbano residenziale standard può essere assunto pari a 150,

-Numero di persone per household (numero di persone per ogni utenza): 2,311 persone per household,

-Indice di motorizzazione: 1,684 persone per autovettura (fonte ANFIA).

Possiamo allora ricavare il 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.

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 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 definiti come i chilometri eccedenti l'autonomia giornaliera del veicolo).

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

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

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.



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 (energia media giornaliera richiesta), 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.

[Fig 5.7]

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

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

Emissione armonica del singolo carica batterie:

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

Lo spettro di emissione di corrente armonica associato alla potenza distorcente 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.

Nelle CP delle aree urbane, sulla rete di AT la distorsione armonica delle CP alimentanti i sistemi di distribuzione è pari all'1% della tensione nominale (le informazioni sono tratte dallo studio CESI).

Relativamente allo spettro corrispondente è ragionevole assumere un valore medio come qui di seguito indicato:

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. 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:

$$U_h = (\sum_i (U_{hi})^\alpha)^{1/\alpha} \quad [h:\text{ordine armonica, } i:\text{ gruppo iniettori}]$$

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 seguenti valori di α :

- $\alpha=1$ per ordine armonico $h \leq 4$
- $\alpha=1,4$ per $5 \leq h \leq 10$
- $\alpha=2$ per $h \geq 11$

5.2 Potenza e distorsioni armoniche

Dopo aver definito i dati preliminari dell'analisi, segue ora una presentazione dettagliata dei risultati ottenuti dallo studio per quanto riguarda l'analisi del carico nei trasformatori MT/BT e l'analisi della distorsione di tensione sulla rete MT e BT.

Quindi 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(paragrafo5.2.2)

5.2.1 Impatto sulla rete: Analisi del carico nei trasformatori MT/BT

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 carica batterie contemporaneamente alimentati (Tab 5.1) arrotondato all'unità superiore;

-Criterio B:

un sistema BT alimenta contemporaneamente un numero di carica batterie pari al numero teorico (di Tab 5.1) 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:

$K_{dis} = (\text{numero riportato in Tabella 5.1}) / (\text{numero dato dal criterio di disomogeneità adottato});$ esso

è indicativo di quanto di si discosta dai dati in Tab 5.1 .

(per i valori assunti dal coefficiente di disomogeneità vedi Tab 5.2)

[Tab 5.1]: 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

Possiamo notare dalla tabella come per la condizione di carica lenta notturna controllata, il numero massimo di carica batterie monofasi è lo stesso.

[Tab. 5.2]: Valori del coefficiente di disomogeneità K_{dis} [(numero riportato in Tabella 5.1) / (numero dato dal criterio di disomogeneità adottato)] 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
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

Conoscendo i valori dei carichi VE presenti, passiamo quindi all'analisi dell' aumento del livello di carico sulle reti MT-BT.

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.

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 5.3, 5.4, 5.5 si riportano i valori del fattore di utilizzazione dei trasformatori nelle varie situazioni di carico dei VE, considerando anche i diversi scenari di penetrazione, compreso lo scenario attuale di penetrazione pari a 0.

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

[Tab 5.3]: 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 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 5.4]: 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 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

[Tab. 5.5]: 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 tra criterio A e B.

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% in termini di potenza in più richiesta.

5.2.2 Impatto sulla rete: Analisi della distorsione di tensione sulla rete MT e BT

Per le ore più significative del diagramma di carico giornaliero, 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 % ;
- ipotetica presenza del solo VE come carico distorcente della rete;

La Tabella 5.6 indica la distorsione armonica totale di tensione con VE nella modalità di carica lenta notturna controllata.

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

[Tab 5.6]: Livelli di distorsione totale della tensione (VTHD) sulla rete MT e BT; carica lenta notturna controllata per il 100 % dei veicoli elettrici

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

-con VTHD superiore al 6% :

- incremento circa 10-15% con penetrazione del VE del 10%
- incremento 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.

Riepilogando dunque i risultati ottenuti, nelle condizioni di maggior interesse abbiamo:

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

[Tab 5.7]: *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 di maggiore potenza, la nuova situazione sarebbe meno critica per quel che riguarda la distorsione armonica.

Da questi dati possiamo dedurre che nei sistemi MT e BT in aree urbane residenziali mediamente caricate, 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.

CAP. 6 SMART GRID E V2G

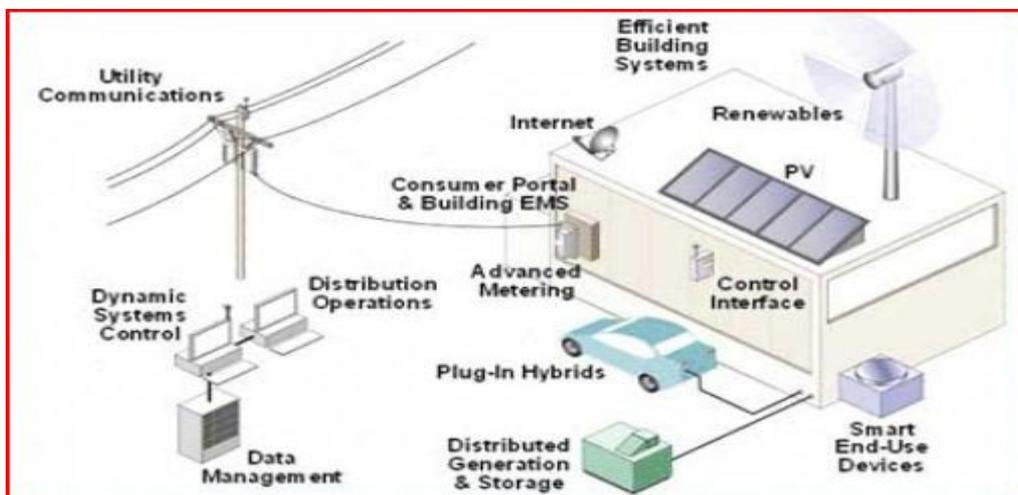
6.1 Il concetto di smart grid (rete intelligente)

Il concetto di una rete intelligente per trasportare energia alle utenze è emerso negli ultimi anni creando molte discussioni e controversie riguardo struttura, utilità e flessibilità tecnica. Parallelamente sono aumentate le pressioni verso i governi volte a incrementare gli incentivi per lo sviluppo tecnologico e per cercare di incorporare significativi livelli di fonti rinnovabili nei prossimi anni. Il successo di tali iniziative, che sono strettamente collegate fra loro, dipendono dalle tecnologie implementate e dall'approccio utilizzato nel loro impiego.

Il concetto di "smart grid" è piuttosto qualitativo poiché esistono diversi tipi di implementazione che hanno diversi livelli di complessità. In generale le implementazioni standard consistono nell'uso di sensori e tecnologie di comunicazione avanzate con lo scopo di dare all'utente finale una vasta gamma di servizi attualmente non disponibili.

Una rete di questo tipo, riportata in Fig 6.1, costituisce quindi l'integrazione delle tecnologie che consentono di ripensare funzionamento della rete elettrica convenzionale, per rispondere alle seguenti esigenze:

- rilevare i problemi prima che abbiano impatto sul servizio;
- rispondere nel modo più veloce possibile agli input locali;
- comunicare velocemente;
- avere un avanzato sistema diagnostico centralizzato;
- prevedere un feedback di controllo che riporti rapidamente il sistema ad uno stato di stabilità dopo eventuali interruzioni o disturbi di rete;
- adattarsi velocemente alle condizioni variabili del sistema;
- ridurre l'impatto ambientale.

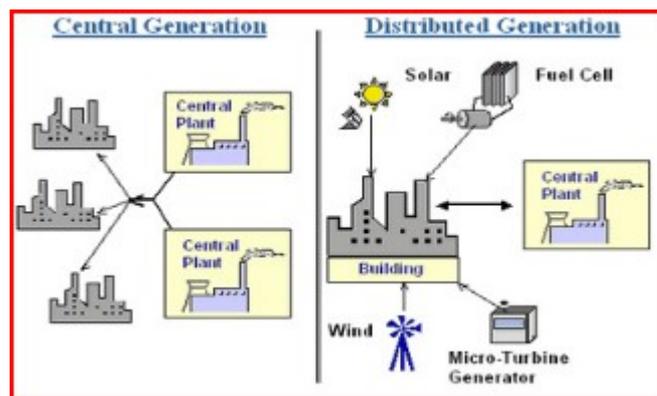


[Fig 6.1]

La Smart Grid è in grado di inviare il surplus di energia di determinate aree ad altre zone in quel momento in deficit, il tutto in tempo reale e in modo dinamico.

Si deve inoltre sottolineare che rispetto all'attuale rete di distribuzione in cui il flusso di potenza è unidirezionale (da produttore a consumatore), in una smart grid, oltre a promuovere la diffusione delle fonti rinnovabili, si rendono i consumatori parti attive nel processo di fornitura dell'energia grazie anche alla generazione distribuita.

La generazione distribuita (GD) è un nuovo modello di produzione e distribuzione di energia (Fig 6.2) che si basa sull'integrazione nelle reti elettriche di piccoli-medi impianti a fonte rinnovabile e di cogenerazione (quasi sempre a gas naturale) generalmente connessi alla rete di distribuzione e spesso collocati in prossimità dell'utente finale. In tal modo si dovrebbe ridurre la necessità di investimenti e di infrastrutture per aumentare la capacità di trasporto delle reti di trasmissione e distribuzione e nel contempo si diminuiscono le perdite di rete e i costi di distribuzione. Ciò è in aperta contrapposizione con la gestione tradizionale della rete elettrica, caratterizzata da poche grandi centrali collegate alla rete di trasmissione.



[Fig 6.2]

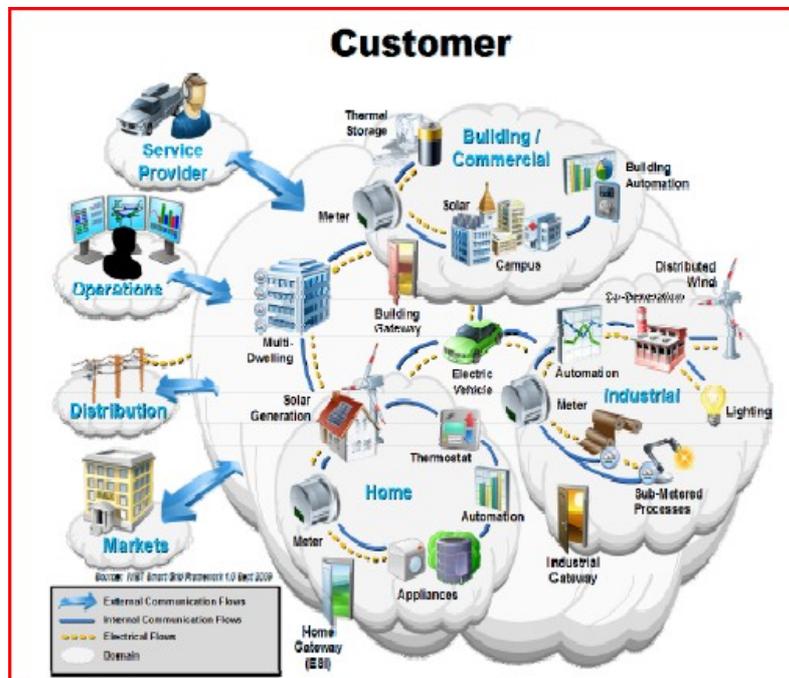
La rete elettrica del futuro dovrà garantire standard sempre maggiori rispetto ad affidabilità, sicurezza, potenza, efficienza e riduzione dell'impatto ambientale. Il consumatore potrà diventare produttore (generazione distribuita) e la rete dovrà essere in grado non solo di trasportare l'energia elettrica, ma anche di gestire in modo ottimale i flussi di energia richiesti e prodotti dagli utenti finali. Da quanto detto, risulta evidente l'importanza di avere in futuro una rete di distribuzione che permetta di raggiungere questi obiettivi, anche in luce all'avvento della diffusione dei veicoli elettrici.

La capacità di accumulo di energia elettrica associata a una larga diffusione di veicoli elettrici, infatti, rende possibile nuovi modi di gestione della rete elettrica di distribuzione. L'utilizzo e la distribuzione dell'energia sono determinati in questi casi dal ruolo attivo di più attori, compreso l'utilizzatore finale che, nel caso particolare, può essere anche possessore di un veicolo elettrico.

La mobilità elettrica costituisce un grande carico flessibile e una capacità di accumulo per la rete elettrica ma l'effettiva possibilità di utilizzo di questa risorsa dipende dai casi d'uso previsti, non tutti in grado di sfruttare queste possibilità. Urge quindi, come più volte ribadito durante l'elaborato, una piena integrazione fra veicolo elettrico e rete di distribuzione che può essere raggiunta solo con un elevato livello di standardizzazione, per sfruttare a pieno le possibilità di gestione controllata di questo carico e la sua possibilità di fornire temporaneamente energia utilizzando scambi informativi fra veicolo e sistema di controllo della rete.

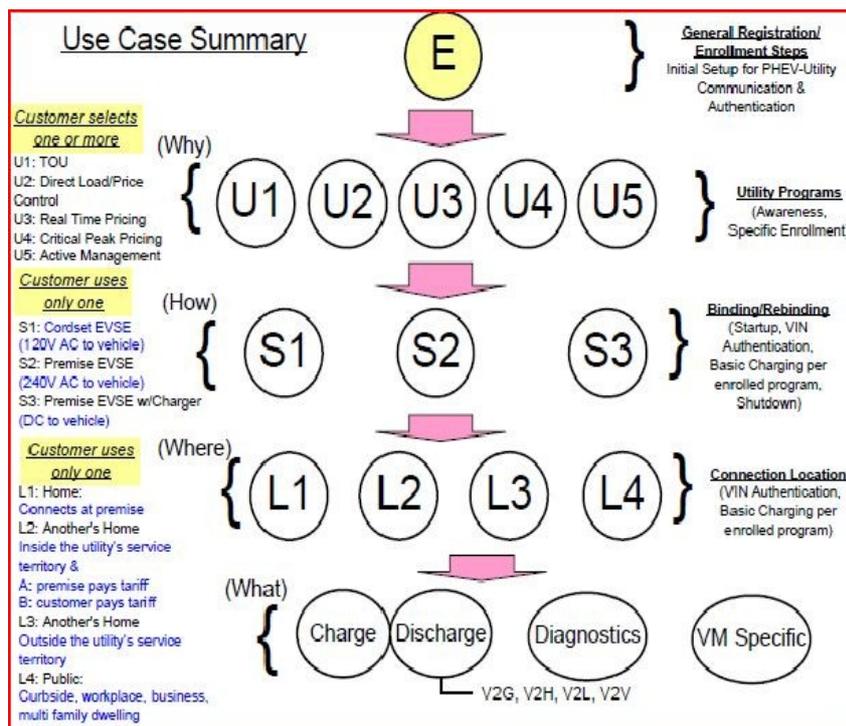
Con riferimento alla visione della Smart Grid proposta da NIST (www.nist.gov), in Fig 6.3, sono schematizzate le relazioni di scambio energetico ed informativo del veicolo elettrico con gli altri soggetti appartenenti al gruppo “clienti” della Smart Grid. La figura evidenzia anche le relazioni di questo gruppo con gli altri ambiti applicativi, rendendo evidente la varietà di soggetti coinvolti nei processi di gestione della rete elettrica e la conseguente necessità di condividere uno stesso modello per i dati scambiati. Le applicazioni per la mobilità elettrica aggiungono quindi nuovi casi a quelli già presi in considerazione nel contesto di standardizzazione più generale relativo alle comunicazioni per la Smart Grids.

In modo analogo a quanto avviene per gli altri componenti del sistema elettrico, l'interoperabilità fra i veicoli elettrici e la rete elettrica, passa dalla definizione di un modello condiviso per i dati e le funzioni necessari alle applicazioni di gestione e controllo.



[Fig 6.3]

Per fornire un'idea dei casi di utilizzo possibili, relativi al EV, si riporta lo schema proposto da EPRI. In esso i casi d'uso sono organizzati su diversi livelli secondo una sequenza logica che fa riferimento principalmente alle operazioni di collegamento del veicolo elettrico alla rete per la ricarica. Il caso d'uso complessivo attraversa tutti i livelli applicando a scelta in genere un solo sottocaso per ogni livello. La Fig 6.4 illustra lo schema generale dei casi d'uso previsti. Dopo una prima fase di registrazione del veicolo in rete, l'articolazione complessiva del caso d'uso comprende l'ambito contrattuale in cui avviene il collegamento (Why), la modalità fisica con cui si realizza (How), dove la ricarica avviene (Where) e per quale servizio (What).



[Fig 6.4]

Il caso d'uso iniziale "E" descrive i passi iniziali di registrazione/iscrizione di un veicolo, necessari alle operazioni successive; comprende le fasi iniziali di autenticazione e configurazione per stabilire la comunicazione fra veicolo elettrico e società di distribuzione.

Il cliente aderisce ad un programma di gestione della carica del EV e completa una configurazione iniziale per la comunicazione fra il veicolo e la società elettrica. Dopo la prima registrazione, i meccanismi di identificazione del EV devono permettere di ristabilire la comunicazione ad ogni sessione di connessione alla rete. Le informazioni scambiate comprenderanno lo stato di carica e altre informazioni del EV, che saranno rese disponibili sui canali informativi del cliente (web, display, ecc...), e i dati per consentire l'addebito del costo di ricarica in base alle tariffe o programmi selezionati dal cliente. Seguono i casi da U1 e U5 che descrivono le modalità di adesione dei clienti a diversi programmi o modi di utilizzo dell'energia previsti dalle società elettriche. Ad un determinato cliente e a una società elettrica in un certo territorio possono applicarsi

In uno scenario di reti elettriche intelligenti, le auto elettriche possono diventare utili anche per fornire servizi di supporto al sistema elettrico, i cosiddetti “*servizi ancillari*”.

Come già detto, le autovetture passano la maggior parte del tempo ferme, se si pensasse ad uno scenario in cui le auto elettriche fossero sempre connesse alla rete elettrica attraverso convertitori statici bidirezionali, pronte ad assorbire o a cedere energia, sarebbe anche possibile utilizzarne i relativi accumulatori per assorbire gli eccessi di produzione di energia elettrica e restituirli al sistema nei periodi di maggior carico. Ad esempio, ipotizzando un parco di un milione di auto elettriche, ciascuna con la possibilità di immagazzinare o immettere energia pari alla metà della propria capacità (stimabile in circa 10 Kwh per auto) si avrebbe una riserva di energia disponibile pari a 10 Gwh, distribuita sulla rete. Ipotizzando 3 Kw per ciascun punto di ricarica, si potrebbe contare su una potenza pari a 3000 Mw, rilevante ai fini della gestione di un sistema elettrico nazionale anche delle dimensioni di quello italiano.

Una delle prospettive più rilevanti riguarda la possibilità di immagazzinare negli accumulatori delle auto elettriche l'energia prodotta in eccesso dalle fonti rinnovabili per poi restituirla alla rete nei periodi di scarsa produttività delle fonti stesse. Alcuni studi avanzano l'idea che immagazzinare l'energia nelle auto elettriche sia persino più efficace di immagazzinarla negli invasi in alta montagna e che le auto elettriche potrebbero, in un prossimo futuro, svolgere un ruolo rilevante nel miglioramento del mercato elettrico. Nel considerare i grandi vantaggi appena descritti che potrebbe offrire il V2G bisogna però tener conto della difficoltà tecnica dell'implementazione pratica, ossia sul fatto che gli accumulatori non avrebbero un impiego ottimale. La ricerca però continua nella speranza che il miglioramento della tecnologia degli accumulatori e una rete sempre più in grado di assorbire energia possano, un giorno, ottimizzare il sistema ed eventualmente sostenerlo nelle situazioni di emergenza. Tale accumulo potrebbe, tra l'altro, essere utile anche nella gestione dell'energia domestica: l'energia accumulata in un'auto potrebbe infatti alimentare un'abitazione italiana media per circa una settimana.



[Fig 6.6]

BIBLIOGRAFIA

- Bartolini A. (gen 2010) “L'Energia Elettrica”, *Infrastrutture di ricarica per lauto elettrica*, p.23
- Bossi, Lazzari, Micolano, (sett 2010) “AEIT”, *Prospettive delle batterie al litio*, pp. 36-44
- Bradfords R. (ago 2009) “IEEE power & energy magazine” ,*Performance, Purpose, and Promise of Different Storage Technologies*.
- Buonarota A. (CESI) “La ricarica del veicolo elettrico: la potenza e l'energia elettriche necessarie, i disturbi introdotti nel sistema elettrico. Alcuni aspetti normativi”. Eltec/Traspe/2003/2004, Rapporto SFR-A3/013314
- Camilli G. (sett 2010) “AEIT”, *Infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici stradali*, pp. 22-30
- Crocetta C. *Introduzione alla trazione elettrica: le batterie*.
- Mauri G. (gen 2010) “L'Energia Elettrica”, *Rete elettrica e reti intelligenti*, pp 13-22
- Tesi di Andrea Panetta, “I veicoli elettrici”. Università di Padova , dipartimento di Ing Elettrica.
- M. Benini, A. Gelmini, G. Mauri, ERSE (febb 2010), Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica, “*Valutazioni dell'impatto dell'inserimento di veicoli elettrici stradali plug-in sulla rete di distribuzione: analisi di scenario, gestione della domanda e aspetti metrologici*”
- <http://en.wikipedia.org/wiki/V2G>
- <http://www.ricercadisistema.it/> , risultati dei progetti RdS sviluppati al [CESI](#).
- Convegno AIEE -IEFE:“Verso l'auto elettrica: prospettive incoraggianti, ma anche problemi rilevanti”, Milano 02-07-10, Università Bocconi.