

Introduzione

I veicoli elettrici caratterizzati da basse emissioni di carbonio e alta efficienza energetica stanno vivendo negli ultimi anni una seconda primavera con una diffusione capillare in grado di dare una risposta concreta alle pressanti preoccupazioni ambientali legate sia alle esigenze di riduzione delle emissioni inquinanti in aree urbane, sia ad alleviare la dipendenza della mobilità da combustibili fossili per migliorare la sostenibilità dei sistemi di trasporto.

Spesso, infatti, la diffusione dei veicoli elettrici è vista come una delle principali soluzioni per realizzare un modello di mobilità sostenibile innovativo ed energeticamente efficiente, essenziale per la trasformazione del sistema di trasporto verso miglioramenti sostanziali nella qualità dell'aria e la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Infatti, l'utilizzo del petrolio per il settore del trasporto è cresciuto notevolmente negli ultimi 20 anni e di conseguenza anche le emissioni di CO₂. Considerando quindi la previsione fatta di oltre 273 milioni di autovetture circolanti solo in Europa e di un totale di oltre 2,5 miliardi a livello mondiale per il 2050, si intuisce come raggiungere gli obiettivi di contenimento delle emissioni dannose per la salute solo attraverso i miglioramenti dei tradizionali motori a combustione interna sia di difficile realizzazione.

Tuttavia, alcuni inconvenienti impediscono ancora una completa diffusione dei veicoli elettrici. Il costo elevato di veicoli elettrici e batterie, la breve autonomia, i lunghi tempi di carica e la scarsa dislocazione delle stazioni di ricarica sono i motivi per cui i veicoli elettrici non possono essere ampiamente adottati per il trasporto. In particolare, la limitata autonomia delle batterie e la correlata range anxiety rappresentano gravi preoccupazioni che limitano la capacità dei veicoli elettrici di competere con i convenzionali veicoli con motore a combustione interna.

Si intuisce quindi come il miglioramento delle prestazioni delle batterie abbia un grande impatto sulla diffusione dei veicoli elettrici, per cui la scelta della tecnologia delle batterie e la sua utilizzazione effettiva è di fondamentale importanza. Ad oggi la chimica agli ioni di litio è la tecnologia della batteria scelta grazie alla sua buona densità di energia, una buona potenza e un efficiente sistema per la carica / scarica.

Attualmente la ricarica delle auto elettriche avviene principalmente durante le ore notturne ed in posti condominiali e privati, ma per un maggiore sviluppo di questo mercato è necessario

non solo che l'autonomia delle batterie aumenti considerevolmente, in quanto per le limitate autonomie le vetture necessitano ancora di una ricarica pressoché giornaliera, ma organizzare anche un efficiente sistema di stazioni di ricarica pubbliche.

Molti analisti ritengono infatti che lo sviluppo di un'infrastruttura di ricarica pubblica da affiancare alla ricarica a domicilio o a lavoro sarà necessaria per favorire la penetrazione sul mercato dei veicoli elettrici.

Tutto ciò deve considerare poi l'integrazione dei veicoli elettrici con il sistema di distribuzione di energia. Infatti la diffusione dei veicoli elettrici e delle infrastrutture di ricarica se da un lato offre dei vantaggi, dall'altro pone necessariamente nuove sfide alla rete elettrica e alle sue fonti di generazione di energia.

Il vantaggio più importante legato ad una infrastruttura di ricarica pubblica è che permette di aumentare la gamma di veicoli elettrici commercializzati. Inoltre, potrebbe anche contribuire a mitigare la pressione supplementare sulla rete elettrica a causa di un gran numero di veicoli elettrici connessi contemporaneamente alla rete senza alcun coordinamento in una stessa area, in cui i carichi prodotti dai veicoli elettrici potrebbero causare un picco della domanda che la rete potrebbe non sostenere, portando a possibili interruzioni della fornitura di energia elettrica.

Dall'altro lato, oggi la produzione di energia elettrica è ottenuta principalmente da centrali di grandi dimensioni alimentate da combustibile fossile, energia nucleare ed idroelettrica che operano attraverso iter produttivi ormai consolidati. Tali sistemi, sebbene offrano un servizio efficiente, non essendo stati concepiti per rispondere alle problematiche appena enunciate fa sì che non siano in grado di offrire prestazioni soddisfacenti sul lungo periodo.

Da qui la necessità di un'evoluzione globale e capillare che includa l'applicazione di nuovi criteri di progettazione e l'impiego di materiali avanzati, la diffusione di dispositivi elettronici per ottimizzare le risorse esistenti e migliorare la flessibilità della rete in caso di interruzioni, l'impiego di tecnologie di stoccaggio a tutti i livelli per mitigare i picchi di domanda ed estendere lo sfruttamento dell'energia prodotta a partire da fonti rinnovabili riducendone l'impatto ambientale, l'utilizzo di metodi di trasmissione e distribuzione più flessibili per bilanciare le fluttuazioni dell'approvvigionamento, aumentare l'efficienza e ottimizzare le prestazioni, l'integrazione di sistemi di monitoraggio e controllo mediante l'uso di sensori intelligenti per prevenire interruzioni e localizzare i guasti che avvengono all'interno del sistema elettrico in modo veloce rendendo la rete più affidabile. Il termine "Smart Grid" (SG),

ovvero “reti elettriche intelligenti”, ingloba le caratteristiche appena elencate in un unico sistema tramite l’integrazione di tecnologie di comunicazione in grado di permettere lo scambio di dati tra i dispositivi intelligenti distribuiti nel sistema elettrico. Le Smart Grid costituiscono, dunque, l’evoluzione delle attuali reti di distribuzione elettrica in grado di rispondere alla crescente domanda energetica, all’utilizzo di fonti d’energia rinnovabile e all’evoluzione nelle tecnologie informative, rappresentando un’efficiente soluzione dal punto di vista energetico e soprattutto dal punto di vista economico.

All’interno delle Smart Grid entrano in gioco i veicoli elettrici, le cui batterie possono fungere da sistemi per lo stoccaggio dell’energia elettrica a cui attingere in caso di emergenza, con l’uso delle tecnologie V2G, acronimo di “Vehicle to Grid”. L’idea che sta alla base del V2G per lo stoccaggio dell’energia in eccesso come fonte di riserva è particolarmente interessante. La maggior parte delle automobili viene impiegata solo per un’ora o due al giorno e rimane inattiva per il resto del tempo e mentre ciò non ha particolari implicazioni per una vettura tradizionale, rappresenta un aspetto certamente interessante per le auto elettriche, le quali, considerate come elementi attivi del sistema, possono in questi periodi di inutilizzo sfruttare i relativi accumulatori per assorbire gli eccessi di produzione di energia elettrica e restituirli al sistema nei periodi di maggior carico per offrire a chi ne ha bisogno parte dell’energia concentrata nella sua batteria. Un altro fattore abilitante i veicoli elettrici all’interno delle Smart Grid è la capacità di fornire vari servizi ausiliari. I servizi ausiliari sono di fondamentale importanza per garantire l’affidabilità della rete bilanciando la domanda e l’offerta e sostenere la trasmissione di energia elettrica dal venditore all’acquirente. Tra i diversi servizi ausiliari che le auto elettriche sono in grado di fornire uno dei più importanti riguarda la regolazione di frequenza del sistema elettrico, la quale deve essere mantenuta molto vicina alla sua frequenza nominale per garantire il corretto funzionamento delle utenze collegate ad esso. Ogni deviazione da questo valore richiede azioni da parte del gestore della rete. Se la frequenza è troppo elevata, significa che i carichi collegati in rete non sono sufficienti per assorbire tutta la potenza generata, occorre quindi aumentare il carico in rete oppure diminuire la potenza elettrica prodotta per mantenere il sistema in equilibrio. D’altra parte, se la frequenza è troppo bassa, significa che il carico collegato alla rete richiede una potenza superiore a quella erogata in quel momento, occorre, quindi, ridurre il carico oppure aumentare la produzione di potenza. Le batterie delle auto elettriche possono essere utili in quanto tramite il processo di ricarica sono in grado di assorbire la potenza dalla rete in caso di sovra produzione aumentando la

richiesta di carico così come con il processo di scarica possono funzionare loro stesse da generatori di corrente o interrompere la carica nel caso di sotto produzione.

Per mitigare invece gli impatti negativi che la carica non regolamentata dei veicoli elettrici può avere sulla rete elettrica, è necessario sviluppare adeguati metodi di controllo per la ricarica. Per queste ragioni, la progettazione di strategie di caricamento ottimali ha recentemente ricevuto molta attenzione dalla comunità scientifica e diversi algoritmi sulla pianificazione della ricarica dei veicoli elettrici sono stati definiti. In genere, questi algoritmi danno per scontato che il rifornimento elettrico si svolga principalmente di notte quando il veicolo è parcheggiato in un garage o in una strada privata a casa del conducente, e che la presa a cui è collegato è controllabile localmente dal sistema di gestione dell'energia della casa oppure direttamente dal gestore dell'energia. Tuttavia, non esiste solo questo scenario di ricarica e anzi molti sono i contributi che affrontano il problema con riferimento all'esecuzione dell'operazione di carica presso stazioni di ricarica pubbliche.

Gli obiettivi perseguiti in questo lavoro di tesi sono proprio lo studio di tecniche di pianificazione della ricarica dei veicoli elettrici presso le stazioni di ricarica pubbliche e la realizzazione di un algoritmo in grado di rendere il processo di ricarica presso le stazioni più efficiente possibile cercando di minimizzare il tempo totale speso per la ricarica e allo stesso tempo limitare per quanto possibile la deviazione dal percorso originario per raggiungere la destinazione finale in modo da ridurre la distanza percorsa e dunque i consumi. Nel capitolo 1 sono descritti in dettaglio veicoli elettrici, le loro componenti fondamentali, le tipologie di batterie utilizzate, le modalità di ricarica e gestione ed il quadro normativo. Nel capitolo 2 vengono introdotte le Smart Grid e l'ambizioso obiettivo di rendere la rete elettrica intelligente mediante interventi di ammodernamento e di introduzione di strumenti di lettura delle grandezze della rete in grado di dialogare in tempo reale tra loro. Viene introdotto il ruolo che le auto elettriche possono svolgere all'interno delle Smart Grid, ruolo che viene analizzato sotto diversi aspetti nel capitolo 3 con il cosiddetto Vehicle to Grid Integration che descrive in dettaglio come i veicoli elettrici possano contribuire sia allo stoccaggio dell'energia, sia alla fornitura di vari servizi ausiliari alla rete elettrica. Nel capitolo 4 sono descritte alcune strategie proposte per gestire in maniera intelligente lo scheduling delle ricariche dei veicoli elettrici presso le stazioni di ricarica pubbliche. Nel capitolo 5 infine viene descritto l'algoritmo di scheduling proposto, la piattaforma di simulazione utilizzata ed i risultati ottenuti.