



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI SALERNO



*Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca*

.DIEM

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione ed Elettrica e
Matematica Applicata.

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione
XIV Ciclo - Nuova Serie

ABSTRACT

Electric Mobility: Smart Transportation in Smart Cities

CANDIDATO: **GIUSEPPE GRABER**

COORDINATORE: **PROF. MAURIZIO LONGO**

TUTOR: **PROF. VINCENZO GALDI**

CO-TUTOR: **DR. PIERLUIGI MANCARELLA**

Anno Accademico 2014 - 2015

Una delle grandi tendenze nel corso del secolo scorso è stata la concentrazione della popolazione nelle città. Attualmente, le Pubbliche Amministrazioni e i Comuni si trovano ad affrontare un compito impegnativo per armonizzare uno sviluppo urbano sostenibile e offrire agli abitanti delle città le migliori condizioni di vita. Le *smart cities* sono ormai considerate una strategia urbana vincente in grado di aumentare la qualità della vita utilizzando la tecnologia, sia per il miglioramento della qualità ambientale che per fornire servizi migliori ai cittadini.

A tale scopo, la mobilità risulta essere un elemento chiave per sostenere questo nuovo approccio nella crescita delle città. Infatti, i sistemi di trasporto urbano producono diversi effetti negativi sulla qualità della vita urbana, come ad esempio, inquinamento, traffico e congestione. Pertanto, la *mobilità sostenibile* è uno degli argomenti più interessanti per le smart cities, in quanto in grado produrre elevati benefici per la qualità della vita di quasi tutte le parti interessate degli agglomerati urbani.

La sfida più audace e imminente per la mobilità nelle smart cities del futuro è l'introduzione dell'elettricità come vettore energetico al posto dei combustibili fossili, per quanto riguarda sia il trasporto collettivo che quello privato. I mezzi per il *trasporto pubblico* comprendono autobus elettrici, filobus, tram, treni passeggeri e trasporto rapido (metropolitane, etc.). Anche se i sistemi di trasporto su ferro sono più efficienti rispetto ad altri modi di trasporto, l'incremento dell'efficienza energetica è un tema importante per ridurre ulteriormente il loro contributo alle emissioni inquinanti e al consumo di energia. Le più promettenti soluzioni per migliorarne l'efficienza energetica consistono nell'implementazione di sistemi avanzati per il recupero dell'energia di frenata e tecnologie di controllo innovative.

D'altro canto, l'elettrificazione del trasporto individuale su strada è emersa come una tendenza finalizzata a sostenere gli obiettivi di efficienza energetica e di riduzione delle emissioni di CO₂. Secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia, al fine di limitare, entro il 2050, l'aumento della temperatura media globale a 2 °C - la soglia critica che gli scienziati suggeriscono di non superare per evitare pericolosi cambiamenti climatici -, il 21% delle riduzioni di biossido di carbonio deve provenire dal settore trasporti. I *veicoli elettrici* (EV) utilizzano un motore elettrico e l'energia accumulata nelle batterie per la propulsione, in modo da avere una maggiore efficienza e minori

costi operativi rispetto ai veicoli convenzionali con motore a combustione interna. Oggi, esistono in commercio più di 20 modelli offerti da diverse case produttrici che coprono una ampia gamma di modelli che differiscono per dimensione, stile, prezzo e motorizzazione in modo da soddisfare il maggior numero di consumatori possibile. Il continuo sviluppo delle batterie al litio e delle tecnologie di ricarica rapida saranno i principali fattori abilitanti per la diffusione degli EV in un futuro molto prossimo. Tuttavia, l'attuale industria dei veicoli elettrici incontra molte limitazioni tecnico-economiche, come elevati costi, autonomia e tempi di ricarica della batteria, capillarità delle infrastrutture di ricarica.

Sebbene sia auspicabile un rapido sviluppo della mobilità elettrica, il suo impatto sulla rete elettrica esistente deve essere investigato a fondo per verificare la necessità di potenziamenti delle infrastrutture e/o l'introduzione di nuovi servizi nella rete elettrica. Infatti, l'interconnessione dei veicoli elettrici con la rete di distribuzione dell'energia necessaria per la ricarica delle batterie può causare effetti negativi sul normale funzionamento del sistema elettrico: una ricarica degli EV non controllata può aumentare significativamente il carico medio negli impianti esistenti, introducendo problemi di affidabilità e sovraccarico.

La ricarica intelligente o controllata degli EV consente, invece, di gestire un numero molto maggiore di autovetture elettriche nelle città, riducendo le possibilità di sovraccarico locale e di velocizzare la penetrazione della mobilità elettrica senza che rendere necessari imminenti potenziamenti dei sistemi di produzione di energia elettrica e incrementi della capacità di rete. La ricarica intelligente, inoltre, può anche influire sul bilanciamento del carico sia a livello della sottostazione elettrica che a livello di rete di distribuzione, in particolare quando si verificano molte sessioni di ricarica nelle ore di punta. Infatti, l'utilizzo della capacità della batteria degli EV per l'accumulo di energia elettrica può facilitare l'integrazione su larga scala delle fonti di energia non programmabili, come quelle rinnovabili.

Il lavoro di tesi si sviluppa nel contesto di riferimento appena descritto, focalizzando l'attenzione soprattutto sull'impatto che la mobilità elettrica ha sui sistemi elettrici e sull'efficacia di nuove soluzioni finalizzate all'incremento dell'affidabilità nelle smart grids. In particolare, viene proposta un'analisi di scenario per quanto riguarda la gestione intelligente delle ricariche dei veicoli elettrici e

alcune soluzioni innovative per aumentare l'efficienza energetica nei sistemi di trasporto elettrificati. Il primo capitolo sottolinea gli aspetti chiave relativi alla mobilità sostenibile nelle smart cities del futuro e fornisce una breve panoramica sul consumo energetico del settore trasporti previsto nel prossimo futuro. In particolare, vengono evidenziate da un lato il significativo contributo che l'elettrificazione dei trasporti urbani può fornire alla causa della mobilità sostenibile, e dall'altro, le gravi preoccupazioni legate all'impatto sui sistemi elettrici esistenti di un notevole incremento della domanda.

Il Capitolo 2 propone un metodo per la soluzione del problema congiunto di scheduling dei generatori e load shedding (GRLS) all'interno di microgrids portando in conto l'incertezza sia sulla domanda che lato generazione. Il fine è determinare un nuovo stato di equilibrio stabile in seguito a guasti, riduzione della generazione da fonte rinnovabile o improvviso aumento della domanda. Il capitolo si concentra principalmente sulla formulazione matematica del problema GRLS e sull'algoritmo di soluzione proposto. Infine, sono presentati e commentati i risultati di simulazione basati su un caso studio reale.

Nel Capitolo 3, è proposta una metodologia semplice ed efficace per identificare profili di carico tipico relativi alla ricarica di veicoli elettrici: in particolare, l'analisi condotta si basa sull'analisi dei dati acquisiti durante lo svolgimento del progetto di ricerca *COSMO*. Il capitolo, inoltre, introduce una formulazione matematica del problema dello scheduling delle ricariche dei veicoli elettrici, che garantisce un appiattimento del profilo di carico e riduce allo stesso tempo il costo della ricarica per gli utenti. Infine, sono commentati i risultati delle simulazioni eseguite dimostrando l'efficacia della metodologia proposta. Il Capitolo 4 introduce alcune soluzioni innovative per l'efficienza energetica nei sistemi di trasporto urbani: l'attenzione viene posta, in particolare, sui sistemi di accumulo dell'energia e sulla condotta di guida Eco-Drive in reti metropolitane. In dettaglio, nel capitolo, vengono introdotti e commentati la formulazione matematica dei problemi di ottimizzazione proposti e i rispettivi algoritmi di soluzione. I risultati ottenuti fanno parte delle attività svolte nell'ambito del progetto di ricerca *SFERE*. Infine, il Capitolo 5 conclude la tesi con alcune osservazioni finali e con i possibili sviluppi dell'attività di ricerca proposta.

