

SmartHG: Servizi Intelligenti per l'Automazione delle Smart Grid

Igor Melatti, Ivano Salvo

Dipartimento di Informatica, Sapienza Università di Roma
melatti@di.uniroma1.it, salvo@di.uniroma1.it

Abstract

Nell'ambito del progetto SmartHG sono stati sviluppati un insieme di servizi *intelligenti, aperti e sicuri* che perseguono, in modo *economicamente sostenibile*, alcuni obiettivi tra loro in conflitto: (a) supportare i gestori della rete elettrica (DSOs: Distribution System Operators) nell'ottimizzazione della rete stessa (EDN: Electric Distribution Network); (b) ridurre i costi energetici per gli utenti residenziali. Per raggiungere tali obiettivi, SmartHG adotta un approccio mutuato dall'Intelligenza Artificiale e consistente in uno schema di controllo gerarchico a 2 livelli. Nel livello più alto, i servizi operano a livello di EDN, calcolando politiche di prezzo individuali per ciascuna casa. Al livello più basso, i servizi operano *in loco* su ciascuna casa, di modo tale che le politiche di prezzo vengano rispettate. I risultati sperimentali ottenuti applicando i servizi intelligenti di SmartHG a casi di studio in Danimarca, Israele e Bielorussia hanno dimostrato che: 1) al livello dell'EDN si ottiene un incremento del 35% del *fattore di carico della domanda*, che misura il taglio dei picchi energetici (e quindi l'ottimizzazione della EDN); 2) al livello domestico, si ottiene un risparmio medio del 13% per gli utenti residenziali sulla bolletta elettrica.

1 Introduzione

Il progetto SmartHG, coordinato dal gruppo MCLab del Dipartimento di Informatica dell'Università di Roma "La Sapienza", ha sviluppato un insieme di servizi intelligenti, aperti e sicuri per soddisfare in modo *economicamente sostenibile* i seguenti (conflittuali) obiettivi: (a) supportare i gestori della rete elettrica (DSOs: Distribution System Operators) nell'ottimizzazione della rete stessa (EDN: Electric Distribution Network); (b) ridurre i costi energetici per gli utenti residenziali; (c) ridurre le emissioni di CO₂. Per raggiungere tali obiettivi, SmartHG adotta un approccio mutuato dall'Intelligenza Artificiale e consistente in uno schema di controllo gerarchico a 2 livelli (vedere Figura 1). Nel livello più alto (*livello di rete*, ovvero dell'EDN), i servizi di SmartHG prendono in ingresso i consumi delle abitazioni residenziali e i vincoli operazionali per la EDN così come li definisce il DSO,

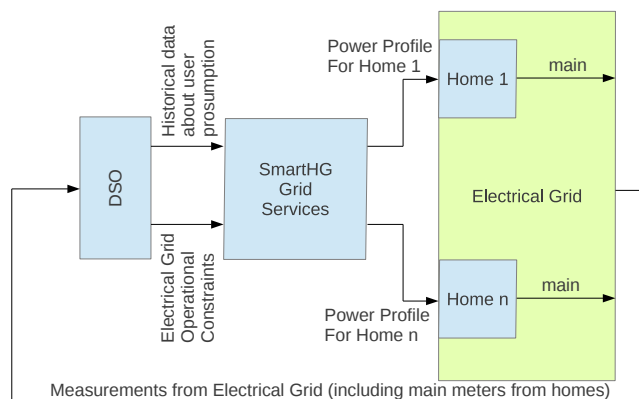


Figura 1: Organizzazione dei servizi intelligenti di SmartHG

e calcolano delle politiche di prezzo individuali per ciascuna casa. Al livello più basso (*livello domestico*), i servizi di SmartHG operano *in loco* su ciascuna casa, comandando le operazioni di carica/scarica di batterie domestiche e/o macchine elettriche, di modo tale che le politiche di prezzo definite al livello superiore vengano rispettate. Ciò permette sia di ottimizzare l'uso dell'EDN, sia di far risparmiare sulla bolletta agli utenti residenziali finali. Nel far ciò, SmartHG mette virtualmente insieme gruppi di utenti residenziali in modo tale che essi possano fornire servizi (quali ad esempio taglio dei picchi d'utenza e arbitraggio) sia ai DSO che ai distributori di servizio elettrico, in cambio di risparmi sulla bolletta elettrica. I risultati sperimentali ottenuti applicando i servizi intelligenti di SmartHG a casi di studio a Kalundborg (Danimarca), Central District (Israele) e Minsk (Bielorussia) hanno dimostrato che: 1) al livello più alto (EDN), si ottiene un incremento del 35% del *fattore di carico della domanda*, che misura il taglio dei picchi energetici (e quindi l'ottimizzazione della EDN) rispetto alle politiche di prezzo non individuali; 2) sempre al livello dell'EDN, questo permette anche di abbassare le emissioni di CO₂, in quanto permette di usare di più l'elettricità quando è meno inquinante produrla; 3) al livello più basso (domestico), si ottiene un risparmio medio del 13% per gli utenti residenziali sulla bolletta elettrica.

Il resto di questo articolo è organizzato come segue. La sezione 2 descrive in maggior dettaglio i servizi a livello di rete. La sezione 3 descrive in maggior dettaglio i servizi

a livello domestico. Infine, la sezione 4 descrive i risultati sperimentali.

2 Servizi Intelligenti a Livello di Rete

I servizi di SmartHG a livello di EDN aiutano il DSO a tenere gli apparati dell'EDN stessa (ad esempio, i trasformatori) all'interno dei loro parametri nominali. In questo articolo ci concentreremo sul servizio principale, DAPP (Demand-Aware Price Policy) [Hayes *et al.*, 2017]. Lo scopo di DAPP è di cercare di indirizzare la domanda di elettricità tramite l'applicazione di profili di potenza personalizzati per ogni casa, di modo tale che la potenza aggregata a livello di sottostazione EDN (ovvero, la somma delle potenze delle diverse abitazioni connesse alla stessa sottostazione, nello stesso lasso di tempo) risulti all'interno dei limiti definiti dal DSO. Tali profili di potenza sono implementati come politiche di prezzo: il prezzo unitario dell'energia è basso se la domanda della casa resta nei limiti definiti, altrimenti è alto.

Questo si oppone all'approccio tradizionale, in cui tutte le abitazioni hanno la stessa politica di prezzi che incentiva gli utenti a consumare lontano dalle ore di punta (offrendo prezzi più bassi in concomitanza di tali fasce orarie). Tale politica, tuttavia, soffre di 3 problemi: 1) gli utenti si spostano tutti insieme (causando un *effetto di rimbalzo*), di modo che le ore di punta si spostano, senza venire eliminate; 2) gli utenti, anziché spostare la domanda, consumano di meno (*compressione della domanda*), causando così un danno economico al DSO; 3) i profili di potenza possono essere difficili da seguire, se molto lontani dalle abitudini di consumo di un dato utente.

Pertanto, DAPP calcola profili personalizzati che tengano anche conto delle abitudini di consumo di ciascun utente residenziale, definendo i limiti di potenza in modo che siano il più vicini possibile alla potenza elettrica normalmente richiesta in un certo lasso di tempo. Questo ha l'effetto di minimizzare la flessibilità richiesta agli utenti per seguire il profilo di potenza dato. A tal fine, DAPP va eseguito una volta al giorno, calcolando così i profili personalizzati per il giorno seguente. A livello algoritmico, DAPP traduce il problema di tenere la domanda aggregata dentro limiti definiti dal DSO in un problema MILP. Dalla soluzione a tale problema, ottenuta in poche decine di secondi tramite CPLEX (IBM), è possibile poi estrarre i profili desiderati.

3 Servizi Intelligenti a Livello Domestico

I servizi di SmartHG a livello domestico aiutano ogni utente a rimanere nei limiti del profilo di potenza personalizzato deciso da DAPP. In questo articolo ci concentreremo sul servizio principale, EBR (Energy Bill Reduction). Lo scopo di EBR è quello di mandare comandi di carica/scarica per una batteria domestica e/o una vettura elettrica (almeno una delle due deve essere presente per poter usare EBR). Ciò avviene in modo da rimanere all'interno dei profili di potenza definiti da DAPP: se in un dato lasso di tempo (di 5 minuti) la richiesta di elettricità risulta in eccesso rispetto al profilo dato, EBR scaricherà la batteria per evitare il consumo dalla EDN. Se invece la richiesta è in difetto, EBR potrà usare la rimanente potenza per ricaricare la batteria. Da notare che questo avviene in modo completamente automatico, senza richiedere

intervento da parte dell'utente. Pertanto, permettendo di spostare la domanda come definito dai profili calcolati da DAPP, si raggiunge l'obiettivo principale, ovvero l'ottimizzazione della rete. Inoltre, rimanendo dentro tali profili, ciascun utente pagherà sempre il prezzo basso dell'energia, realizzando così un considerevole risparmio.

A tal fine, EBR viene eseguito separatamente su ogni casa, come un software di controllo in esecuzione infinita su un dispositivo con limitate capacità di calcolo (nei nostri esperimenti, una Raspberry Pi). Da notare che l'esecuzione di EBR non richiede l'invio di informazioni al DSO (mantenendoci così la privacy), ma solo la comunicazione del profilo di potenza da seguire. A livello algoritmico, EBR traduce (ogni 5 minuti) il problema di restare all'interno del profilo di potenza in un problema MILP (Mixed-Integer Linear Programming). Dalla soluzione a tale problema, ottenuta in frazioni di secondo tramite CPLEX (from IBM), è possibile poi i comandi di carica/scarica da inviare alla batteria domestica e/o alla vettura elettrica (se presente).

4 Risultati Sperimentali

In questa sezione mostriamo i risultati sperimentali ottenuti simulando l'esecuzione di DAPP (sezione 4.1) ed EBR (sezione 4.2) per un anno su un gruppo di 62 abitazioni in Danimarca, tutte collegate allo stesso trasformatore.

4.1 Risultati per DAPP

Per misurare l'efficacia di DAPP è necessario considerare il *fattore di carico della domanda*, definito come il valor medio del rapporto tra la potenza aggregata e il valore del picco; in formule, $\frac{1}{|T|} \sum t \in T \frac{d_t}{\max_{t \in T} d_t}$, dove T è l'insieme dei lassi di tempo (da un'ora) da considerare e d_t è la potenza aggregata al tempo t . Rispetto a tale misura i risultati sono questi: il valore viene effettivamente incrementato dal 33% della situazione iniziale senza DAPP al 39% impiegando DAPP. Da notare anche che, impiegando una politica di prezzi globale, il valore scende al 29%. Infine, se si dota la metà delle abitazioni di una vettura elettrica, il fattore di carico aumenta dal 34% al 44% (30% con le politiche globali).

4.2 Risultati per EBR

Per misurare l'efficacia di EBR è necessario considerare, per ogni casa, il risparmio sulla bolletta, alla fine dell'intero anno. Rispetto a tale misura, il valor medio sulle 62 abitazioni è del 13% (usando sia una batteria che una vettura elettrica), mentre è dell'1% se si usa solo una vettura elettrica. Tale disparità è dovuta alle diverse condizioni di uso (la batteria domestica è sempre disponibile, la vettura elettrica solo quando viene manualmente connessa alla presa elettrica) e ai diversi requisiti (la batteria domestica può essere usata liberamente all'interno dei suoi parametri, la vettura elettrica deve essere portata alla piena carica entro un certo numero di ore).

Riferimenti bibliografici

[Hayes *et al.*, 2017] B. P. Hayes, I. Melatti, T. Mancini, M. Prodanovic, e E. Tronci. Residential demand management using individualized demand aware price policies. *IEEE Trans. Smart Grid*, 8(3):1284–1294, 2017.