



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

Basi per un modello simulativo del consumo di energia elettrica in ambito residenziale.

Relatore: Prof. Narduzzi Claudio

Corelatore: Prof.ssa Giorgi Giada

Laureando: Baietta Tiziano

Anno Accademico: 2010-2011

Contents

1	Abstract	1
2	Introduzione	2
2.1	Modelli attuali in letteratura	3
2.2	Il modello proposto	8
2.3	Esigenze del controllo	10
3	Considerazioni Preliminari	16
3.1	Raccolta dati	19
4	Progettazione Dell'Editor ApEd	21
4.1	Progettazione e sviluppo di ApEd	21
4.2	Descrizione di ApEd	23
4.3	Formato dei file	26
4.4	Esempio di utilizzo: nuova appliance	27
5	Algoritmi di Simulazione	30
5.1	Approssimazione di Poisson	31
5.2	Modifica dell'algoritmo di simulazione di Poisson mediante funzione peso .	33
5.3	Modellizzazione mediante Mappe caotiche	36
5.4	Aggregazione	38
6	Appliances	42
7	Validazione	50
7.1	Validazione di simulazioni in cui si è utilizzato ApEd	56
7.2	Validazione per via grafica	58
7.3	Validazione per istogramma	58
7.4	Confronto numerico e per integrazione	61
7.5	Considerazioni sui dispositivi simulati	63
7.6	Aggregazioni	65

Contents

8 Conclusioni

75

1 Abstract

Il lavoro svolto nel corso di questa tesi è stato mirato all'analisi, dal punto di vista matematico e statistico, di un simulatore in grado di generare profili di potenza elettrica relativi all'utilizzo finale da parte degli utenti delle reti di distribuzione. Questo tipo di simulazioni costituisce un importante e nuovo ausilio per quanti si trovano a dover lavorare nella gestione delle politiche energetiche, ma anche del controllo dei profili dei consumi dal punto di vista degli utenti finali. L'approccio seguito è stato di tipo "bottom-up", andando a generare il profilo complessivo partendo dalla combinazione delle simulazioni dei singoli apparati presenti all'interno di un'unità considerata. Si sono sviluppati i modelli matematici a partire da considerazioni legate ad aspetti di tipo socio-economico e statistico, giungendo ad una loro implementazione all'interno di un simulatore, e consentendo in fine di svolgere una operazione di validazione sul lavoro svolto.

2 Introduzione

L'obiettivo della tesi è quello di valutare alcuni algoritmi per generare una simulazione dei flussi di potenza da e verso appartamenti, uffici o altre unità di questo tipo in ambito residenziale, al fine di costruire uno strumento utile alla ricerca dal punto di vista del controllo locale delle potenze.

Lo sviluppo di modelli idonei a valutare il profilo di carico nell'ambito delle utenze finali è un obiettivo che può introdurre grandi miglioramenti dal punto di vista tecnologico e del comportamento energetico. Questo tipo di simulazioni offrono diverse possibilità nuove nell'ambito del controllo, soprattutto per quanto riguarda la gestione dal punto di vista dell'utilizzatore, ma anche in campi quali le simulazioni di tipo politico e sociologico riguardo le politiche di gestione delle tariffe energetiche e delle gestioni mirate alla riduzione delle richieste di energia elettrica (Demand Side Management).

Oltre allo sviluppo dei modelli, una parte del lavoro è stata collegata con la realizzazione di un'applicazione software atta a "progettare" gli andamenti dei flussi energetici da utilizzare nelle simulazioni e una serie di script di supporto in ambiente Matlab che consentono di svolgere le simulazioni di un singolo dispositivo, di aggregarli per ottenere la simulazione complessiva dell'unità prima e un complesso di queste poi, e di ottenere gli andamenti globali in un unico passaggio.

Osservando i lavori disponibili nello stesso ambito in letteratura, nessuno delle precedenti ricerche trovate si pone come obiettivo principale una simulazione atta ad essere di aiuto nella progettazione e valutazione di sistemi di controllo. Tutti hanno lo scopo di modellare nel modo più accurato possibile le singole distribuzioni degli usi degli elettrodomestici, o di valutare con la massima precisione consentita dai modelli i profili del consumo legato all'illuminazione o al riscaldamento delle unità.

Nel presente lavoro, invece, si è deciso di lasciare ad un processo di affinamento successivo la precisione temporale degli usi dei singoli dispositivi, in favore di una maggiore semplicità di utilizzo del software prodotto e di una maggior attenzione alla correttezza statistica dei comportamenti energetici nella loro complessiva aggregazione.

Una parte importante del lavoro è stata costituita dall'attività di individuazione delle caratteristiche descrittive dell'uso che gli utenti fanno dei singoli dispositivi. Nei lavori

presi in considerazione si sono trovati riferimenti a database di paesi del nord Europa, nei quali è stata svolta una imponente opera di raccolta dati per mezzo di diari personali tenuti da un significativo numero di volontari sull'uso che essi facevano degli elettrodomestici, e vi si sono affiancate una nutrita quantità di rilevazioni svolte sul campo per mezzo di strumentazione di misura installata nelle abitazioni scelte come campione. A livello nazionale italiano invece, questo tipo di dati non sembra essere disponibile, ad eccezione di [6], quindi un'operazione di adattamento dei dati raccolti in altri paesi ed un loro confronto con un normale utilizzo degli stessi apparecchi sul nostro territorio è stato di primaria importanza per evincere le caratteristiche da utilizzare nel modello simulativo realizzato.

2.1 Modelli attuali in letteratura

Il lavoro svolto nella presente tesi si poggia su un serie di lavori scientifici presi come riferimento, che hanno costituito la base per affrontare in modo organico e organizzato il lavoro svolto. Questi lavori sono stati prevalentemente portati avanti in ambito europeo da gruppi di ricerca separati e con motivazioni varie ed eterogenee, anche se gli obiettivi proposti si possono dividere in due principali categorie: modellizzazione temporalmente coerente dei flussi di potenza legati alle appliances all'interno di un appartamento, modellizzazione dell'intensità luminosa all'interno di un'abitazione. A prima vista sembrano problemi fra loro eterogenei, con finalità risolutive differenti e affrontabili con approcci diversi, ma in realtà come si può osservare dai lavori prodotti, si sono utilizzate delle strategie comuni in entrambi i casi. In entrambe le tipologie di problemi si è scomposto il lavoro in varie parti. Una fase di progettazione di un possibile modello, atto a descrivere il problema in esame dal punto di vista matematico, e quindi idoneo all'implementazione della simulazione. In generale, alla fase di modellizzazione è seguita una seconda fase costituita dalla raccolta di dati nel mondo reale, mediante osservazioni sul campo, cioè nelle abitazioni di volontari che hanno accettato di partecipare alla raccolta dati. In fine, i gruppi di lavoro hanno svolto un'operazione di simulazione con gli algoritmi che avevano individuato e hanno proceduto ad una fase di validazione del modello, cioè hanno confrontato i risultati ottenuti per via matematica con quelli misurati, dopo aver proceduto ad applicare delle elaborazioni atte ad estrapolare dati idonei ad un confronto attendibile.

E' utile ora discutere brevemente i lavori che hanno costituito le basi per questa tesi, commentando gli approcci e gli obiettivi che si prefiggevano di raggiungere. Tutti questi riferimenti sono caratterizzati dall'approccio, di tipo "bottom-up" che è stato seguito

2 Introduzione

anche nel corso della presente tesi, e che consente di focalizzarsi sull'analisi delle singole appliances per ottenere in fine i dati cercati mediante un'operazione di aggregazione.

Il modello che viene di solito preso come riferimento considera un fattore di variabilità, legato all'occupazione dell'abitazione e al tipo di attività svolte dagli occupanti, e da questo si ricavano le probabilità di accensione per gli elettrodomestici simulati.

Dall'aggregazione dei singoli dispositivi si ottiene la simulazione dell'abitazione presa in considerazione (Figura 2.1.1).

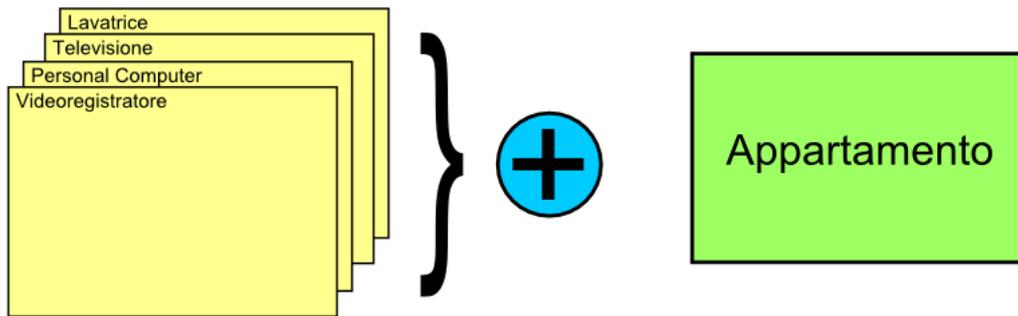


Figure 2.1.1: *Struttura dell'aggregazione per una singola abitazione*

“Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model” [1], è un lavoro mirato all'analisi di un modello simulativo per i carichi elettrici, caratterizzato da un'elevata risoluzione temporale, la stessa utilizzata poi nel nostro progetto. Il modello utilizzato dai ricercatori è spiegato in grande dettaglio, presentando anche alcune implicazioni delle scelte svolte, anche se non discute mai approfonditamente le motivazioni di base dello studio. [2] costituisce un'evoluzione del primo sotto l'aspetto della definizione matematica di un algoritmo di simulazione basato sulle catene di Markov che regolano le transizioni a livello di attività svolte dalle persone, e quindi di probabilità di utilizzo per i singoli elettrodomestici. L'analisi di questa ricerca ha consentito di approfondire l'approccio già individuato in [1]. Analoghe considerazioni possono essere fatte per [3], che ancora risulta una discussione di carattere matematico sulle transizioni di stato all'interno del modello matematico, comprendendo anche una consistente sezione riguardo le procedure di validazione utilizzate per il modello proposto, che coniuga semplicità e correttezza. Dallo studio di questo lavoro è emersa la necessità della fase di validazione fosse importante, l'approccio mirato alla verifica dell'affidabilità è stato quindi adottato sin da subito anche nel corso di questa tesi, svolgendo periodiche attività di verifica e controllo

2 Introduzione

dei risultati intermedi. [4] ha costituito un punto di vista differente sul problema della modellizzazione, basandosi sull'obiettivo di simulare il comportamento energetico legato all'illuminazione.

Anche se l'argomento potrebbe sembrare scollegato dalla simulazione di carichi elettrici, che è il fondamento della tesi, le analogie individuate nello studio sono state molteplici, ed hanno portato ad una visione del problema della simulazione dei flussi di potenza differente e più organica. Infatti, molte delle attività che l'uomo svolge sono in gran parte legate alle condizioni di illuminazione. Risulta quindi evidente l'esistenza di un legame diretto fra l'andamento dell'illuminazione e le attività umane, e quindi i consumi e le richieste energetiche. Questo collegamento è stato vagliato nelle fasi di progetto della tesi, e si sono trovati dati abbastanza completi riguardo i tassi di illuminazione suddivisi per area geografica. Tuttavia, il collegamento fra attività umane e andamento della curva di illuminazione risulta quantomeno soggetto agli stessi problemi che saranno discussi nel seguito del paragrafo, dato che le funzioni di programmazione e controllo remoto degli elettrodomestici tendono a rendere questo legame via via meno influente dal punto di vista del comportamento energetico.

Il lavoro svolto dai ricercatori in [5] costituisce ancora un'approfondimento di natura matematica su un aspetto che è stato fondamentale durante le prime fasi di progettazione di questo lavoro di tesi, cioè sulla definizione del corretto passo temporale necessario per il compito che ci eravamo prefissati. In questa ricerca sono confrontati gli esiti delle rilevazioni sul campo svolte con differenti range temporali e successivamente confrontati, mettendo in luce le caratteristiche peculiari che ciascun intervallo presentava. Sapendo che il nostro programma avrebbe dovuto essere un ausilio allo studio del controllo e confrontando le esigenze di questo tipo di attività con le caratteristiche dei singoli range temporali utilizzati in [5], abbiamo potuto sin da subito individuare il passo di simulazione più idoneo allo scopo.

Particolarmente interessante è stato [2], questa ricerca infatti riporta un possibile approccio che i ricercatori hanno utilizzato per svolgere un'operazione di sintesi a livello superiore rispetto a quella svolta nei precedenti studi citati. Qui infatti la sintesi è stata portata avanti con l'idea di arrivare ad ottenere in un unico passaggio l'andamento dell'intero aggregato, saltando di fatto le singole simulazioni delle appliances interessate.

I risultati prodotti da questi lavori hanno aspetti comuni, e anche se mettono in luce punti chiave differenti, si riesce ad intravedere delle similitudini che è stato bene osservare prima di iniziale con il lavoro svolto. Anzitutto, tutti gli studi consultati dimostrano come il comportamento, in questo caso dal punto di vista energetico, di un singolo individuo non sia assolutamente prevedibile con esattezza. Si discuterà più in dettaglio

2 Introduzione

nel seguito su questo punto, ma è necessario precisare qui alcune peculiarità di questo aspetto. Gli esseri umani hanno un comportamento abitudinario, tendono cioè a ripetere in modo periodico quelle azioni che si rivelano efficaci, così da ridurre il tempo di svolgimento, e incrementare la comodità. Tuttavia vi sono sempre delle differenze, non si riuscirà mai a ripetere in modo meccanico e preciso le stesse azioni, se non altro per via degli innumerevoli aspetti che influenzano la vita di ciascuno. E' allora importante riuscire ad individuare delle meccaniche atte a descrivere questi comportamenti, e a renderli confrontabili non dal punto di vista temporale, ma da quello energetico. L'approccio comunemente utilizzato per questo tipo di analisi è fondato sull'assunzione che una persona deve azionare l'elettrodomestico affinché questo inizi a funzionare. E così il primo passo nei modelli studiati è sempre stato quello di valutare il tasso di occupazione per l'abitazione. Quindi tutti i modelli osservati hanno come prima variabile di ingresso il numero di persone che sono presenti all'interno della casa al momento in cui si intende svolgere la simulazione.

Una volta stabilito il numero di occupanti, gli approcci studiati procedono con l'individuare un'altra variabile fondamentale per la simulazione, cioè stabilire cosa le singole persone stiano facendo nell'istante di interesse. In effetti questo è un altro punto molto importante perché la simulazione sia corretta: stabilire cosa ciascuna persona stia facendo è la base per decidere se necessiti o meno di illuminazione (seconda categoria di problemi) o quali elettrodomestici siano utilizzati o stiano per esserlo (prima categoria di problemi). Gli approcci seguiti in questo, pur nella loro diversità, sono tutti simili dal punto di vista concettuale, tutti assegnano uno stato a ciascuna persona in casa e a ciascuno degli stati possibili collegano gli elettrodomestici che sono potenzialmente utilizzati, o la quantità di luce necessaria al lavoro.

Molto vicino a questo aspetto se ne trova un altro comunemente affrontato, quasi tutti i modelli proposti tengono conto della "concomitanza dei compiti", rendendo maggiormente probabile l'utilizzo di un'appliance nel caso in cui questa possa essere utilizzata da più persone per il medesimo compito nello stesso periodo. Nell'approccio "standard", la fase successiva corrisponde alla modellizzazione il più accurata possibile degli andamenti energetici legati ai singoli dispositivi che saranno utilizzati nelle simulazioni. Questa fase è spesso svolta partendo da misure sul campo realizzate tramite strumenti di idonee caratteristiche installati nei siti di monitoraggio, ed è considerata, a ragione, come fondamentale per il corretto esito delle simulazioni. Questi profili saranno successivamente utilizzati come "blocchi" all'interno del modello, ed inseriti nel periodo della simulazione in corrispondenza degli istanti in cui si prevede l'accensione del dispositivo associato. La somma di tutti i consumi degli elettrodomestici, nell'intero ciclo simulato, fornisce il pro-

2 Introduzione

filo complessivo, nonché il risultato della simulazione svolta. In generale infatti i consumi complessivi dell'abitazione sono stati assunti come la somma delle richieste energetiche di ciascun dispositivo sommate fra loro.

Andiamo ora ad osservare quali sono i risultati del procedimento appena descritto, per capire meglio quali siano i punti di forza, ed eventualmente di debolezza, di un processo come quello appena preso in esame.

Iniziamo dalla prima variabile individuata, cioè dal tasso di occupazione dell'ipotetico appartamento. Questo parametro è certamente fondamentale nell'interpretazione con cui viene considerato, ed è importante che sia il più possibile correttamente modellato. E' evidente come tutti gli usi degli elettrodomestici siano legati a questo parametro, ma da un certo punto di vista rappresenta anche una debolezza per le simulazioni di abitazioni più moderne, infatti sempre più spesso i dispositivi di recente costruzione sono dotati di timer per regolarne accensioni e spegnimenti. Basti pensare ai moderni televisori che hanno introdotto timer specifici per regolare l'ora di spegnimento, con l'obiettivo di ridurre i consumi qualora lo spettatore si addormenti a tarda ora, ma anche alla programmazione dei videoregistratori. In effetti, nell'ottica del mercato questo aspetto è sempre più rilevante, e sicuramente porterà a inevitabili cambiamenti nel modo in cui gli utenti useranno i dispositivi. Ne consegue chiaramente che l'intervento diretto per le accensioni e spegnimenti sarà via via ridotto, a favore di una pianificazione dei consumi che questo tipo di modello non è in grado di prevedere, anche se questa politica volta al controllo diretto dei dispositivi incontra una pesante critica. Molti infatti sostengono come questa forma di gestione possa introdurre possibili rischi relativi tanto alla privacy degli individui quanto a reali problemi legati ad una gestione non corretta degli elettrodomestici da parte dei sistemi di controllo.

Osserviamo adesso l'assegnazione di stati agli individui all'interno dell'ambiente simulato. Anche per questo aspetto l'interpretazione che sino a qui è stata data risulta sicuramente importante e corretta, ma, ancora, le strategie di pianificazione energetica non possono essere controllate né simulate da questo tipo di approccio. Anzi, è proprio questo aspetto ad essere il più soggetto ai cambiamenti che le politiche di riduzione dei consumi impongono. Interventi indiretti, quali le tariffe differenziate per fasce orarie, con incentivi ad utilizzare i dispositivi maggiormente "pesanti" nel corso delle ore serali e notturne non potranno che rendere il collegamento attività-elettrodomestico meno ovvio ed indiretto, riducendo di conseguenza l'affidabilità delle simulazioni che basano la loro attendibilità su questo fattore, che fin qui è sempre stato utilizzato ampiamente.

L'ultimo ingrediente dell'algoritmo presentato sono gli andamenti ricostruiti per i flussi di potenze attraverso i dispositivi. Non vi sono dubbi che una modellazione accurata di

questi profili sia fondamentale per una ricostruzione corretta delle potenze nell'ottica dell'approccio utilizzato, ma ancora questo collegamento stretto presenta una possibile lacuna. Il mercato è sempre più attento alla riduzione delle richieste energetiche da parte dei dispositivi prodotti, e questo comportamento è anche fortemente incentivato dalle politiche nazionali e internazionali mirate al miglioramento della sostenibilità ambientale delle attività dell'uomo. Non c'è quindi da stupirsi che ad ogni nuova generazione di prodotti, i consumi siano via via inferiori, rendendo di fatto i dati di consumo soggetti ad un veloce fenomeno di obsolescenza. Non bisogna scordare poi che i profili di consumo non sono costanti, diversi elettrodomestici presentano più possibili regimi di funzionamento, e anche le condizioni in cui sono fatti funzionare contribuiscono ad alterare significativamente i consumi che presentano. Siccome oggi uno dei principali aspetti riguardanti gli studi relativi al comportamento ed al controllo energetico è la velocità di miglioramento, molti degli studi presi come base per il presente lavoro di tesi non sono stati in grado, probabilmente perché non richiesto, di fornire un meccanismo semplice e rapido per la generazione di questi dati importanti.

2.2 Il modello proposto

Il modello proposto nel corso del presente lavoro è sicuramente differente da quello generale presentato nella sezione precedente, soprattutto dal punto di vista delle ipotesi di lavoro e delle caratteristiche che i risultati presentano.

Prima di tutto è necessario discutere gli obiettivi richiesti che, come si vedrà, risultano differenti da quelli dei modelli presenti in letteratura. Gli algoritmi presentati nei lavori presi come riferimento, come già accennato, si prestano alla modellazione il più verosimile possibile del comportamento sia temporale, sia della potenza che il sistema abitazione richiede, quindi le richieste sono:

- correttezza nella distribuzione temporale delle potenze;
- correttezza nell'ordine di grandezza dei flussi coinvolti.

Per comprendere le motivazioni che hanno portato a identificare queste richieste, è bene osservare gli scopi per i quali le simulazioni analizzate sono state progettate. I principali ambiti di utilizzo dei modelli studiati negli altri lavori sono quello economico e sociologico. In questa tesi invece, la necessità di realizzare uno strumento mirato ad un utilizzo di tipo tecnico ha portato a dover fissare altri requisiti e diverse caratteristiche necessarie per il modello e le simulazioni. Alcuni aspetti di cui si è tenuto conto nel lavoro da noi svolto, che dal punto di vista politico e sociologico sono stati trascurati, hanno un peso

2 Introduzione

notevole dal punto di vista tecnico, ancora di più se si considera la bassa diffusione di impianti reali su cui eseguire monitoraggi. A titolo di esempio si consideri la necessità di dover controllare un sistema con dispositivi di storage.

Il modello che si va qui a presentare pone l'accento sugli aspetti statistici e dinamici del comportamento dei flussi di potenza richiesti sia dalle singole unità abitative sia da loro aggregazioni in macrogruppi. Il concetto di macrogruppi di unità è di per sé un aspetto nuovo rispetto agli approcci classici che si trovano nei lavori svolti in precedenza. Questo approccio, rivolto allo studio non della singola abitazione ma del complesso di più unità, consente di valutare gli andamenti complessivi degli effetti generati dalle aggregazioni di strutture. I risultati di questo tipo di operazione sono più direttamente collegabili con ciò che viene misurato in realtà osservando il comportamento di un insieme di abitazioni, quali un quartiere. Proprio per questo un'analisi di questo tipo produce dei risultati che dal punto di vista del controllo mantengono delle caratteristiche più simili alle condizioni reali in cui i progettisti si vengono a trovare.

Inoltre il modello deve essere utilizzabile anche per la simulazione di strutture differenti dalle abitazioni, quali esercizi commerciali o botteghe artigiane, che chiaramente presentano delle tipologie di carichi differenti, come pure regimi di potenze diversi. Per discutere al meglio del lavoro svolto, è anche opportuno precisare alcuni obiettivi di carattere generale, ad esempio il lavoro è destinato a costituire un ausilio simulativo nell'ambito degli studi relativi ai sistemi di controllo delle potenze in gioco in un sistema come quello appena descritto, costituito da un'aggregazione di singole unità potenzialmente eterogenee sia dal punto di vista dei cicli temporali in cui i dispositivi elettrici sono utilizzati, sia nella composizione del parco di appliances che ciascuna unità può contenere.

Il principale compito che il software realizzato può svolgere è la generazione degli andamenti temporali della richiesta di energia per le singole appliances, nonché della loro aggregazione. Questi risultati sono generati con particolare attenzione alla correttezza dal punto di vista statistico rispetto alle condizioni che si ritrovano in ambito reale. Il secondo compito per cui il software è stato progettato è consentire uno studio dell'effetto dell'aggregazione di più utenze, offrendo un sussidio nell'analisi dell'effetto di tale aspetto e dando la possibilità di simulare l'efficacia delle possibili strategie con cui tale raggruppamento può essere svolto.

Si è ritenuto utile nell'ottica del controllo, offrire la possibilità all'utente finale di simulare comportamenti legati a rotture o fenomeni di corto-circuiti, che costituiscono situazioni imprevedibili e come tali non simulabili in modo adeguato, introducendo opportunamente alterazioni sugli esiti delle simulazioni.

Dati questi requisiti, il lavoro è stato progettato e svolto tenendo a mente delle carat-

2 Introduzione

teristiche che consentissero ad un sistema di questo tipo di funzionare correttamente e di essere di semplice utilizzo. La caratteristica più “pratica” dei risultati cercati, cioè non orientata alla semplice analisi del comportamento energetico, ma guidata verso un successivo utilizzo dei dati generati dall’attività di simulazione ha fatto procedere verso la direzione di semplificare quanto più possibile la struttura del procedimento di simulazione, favorendo quindi la velocità di calcolo e generazione, e suggerendo di porgere particolare attenzione agli aspetti quali il formato di salvataggio dei dati in modo comodo e portatile. Questi aspetti, che non sono stati incontrati negli altri lavori di questo tipo, costituiscono invece l’ossatura del presente studio, e sono responsabili delle differenti ipotesi di lavoro utilizzate in questa sede.

2.3 Esigenze del controllo

Discutere delle strategie per il controllo dei flussi di potenza nella rete è un argomento che esula dagli scopi di questo lavoro di tesi, ma capire quali siano le caratteristiche che sono necessarie per un sistema di controllo può certamente essere di aiuto nella progettazione di un simulatore idoneo a facilitare lo studio e l’analisi di questo tipo di soluzioni.

Il principale problema del controllo di potenza è senza dubbio quello legato alla stabilizzazione dei flussi.

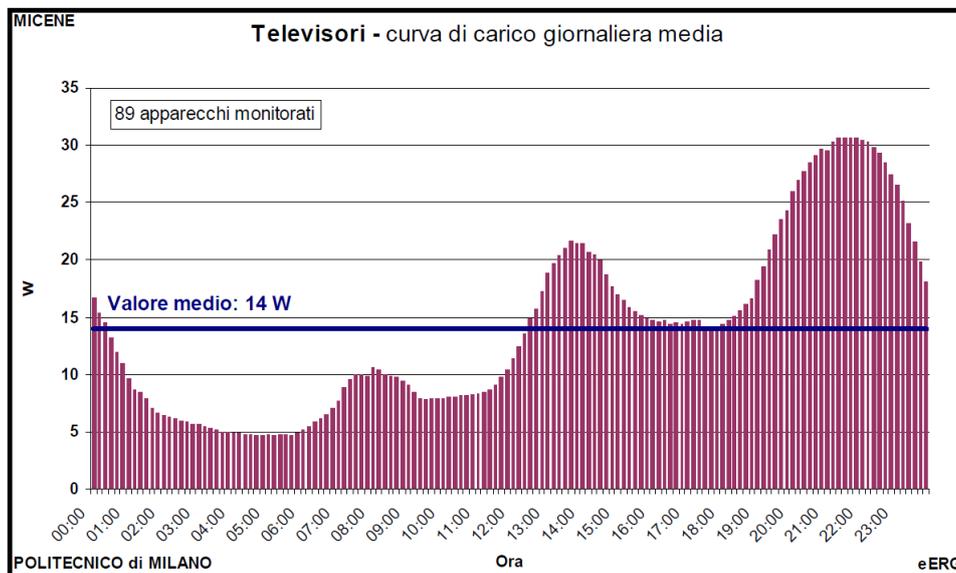


Figure 2.3.1: *Esempio di profilo di flusso, estratto dalla relazione del progetto MICENE*

Come si può vedere dall’immagine, il comportamento rilevato dai ricercatori del pro-

2 Introduzione

getto MICENE [7] presenta un profilo variabile nel tempo, anche se caratterizzato da variazioni nel complesso lente e non eccessivamente repentine. Bisogna però tenere presente che il comportamento rappresentato in figura 2.3.1 non è il reale andamento della potenza richiesta da un unico televisore, ma è il risultato di una media su un numero cospicuo di dispositivi, quindi l'operazione svolta contribuisce a ridurre le variazioni brusche rilevate.

In realtà sono frequenti comportamenti di tipo impulsivo all'interno dei cicli di funzionamento del singolo apparato, e questi possono in alcuni casi portare ad instabilità che vanno controllate.

Anche il passo temporale utilizzato in figura non è idoneo ad apprezzare questo tipo di comportamento. Un'osservazione su periodi dell'ordine della decina di minuti presenta un andamento smussato, con variazioni lente. Per rendersi conto del reale profilo di potenza dei singoli dispositivi, è necessario svolgere delle rilevazioni con un intervallo più fine, e quindi soggetto a minori effetti di media dovuti alla durata del periodo di misurazione. Con un passo di misura del minuto, si osservano dei picchi molto più nitidi, e spesso degli impulsi dovuti a comportamenti puntuali dei carichi che non sono apprezzabili con periodi maggiori di misurazione (Figura 2.3.3).

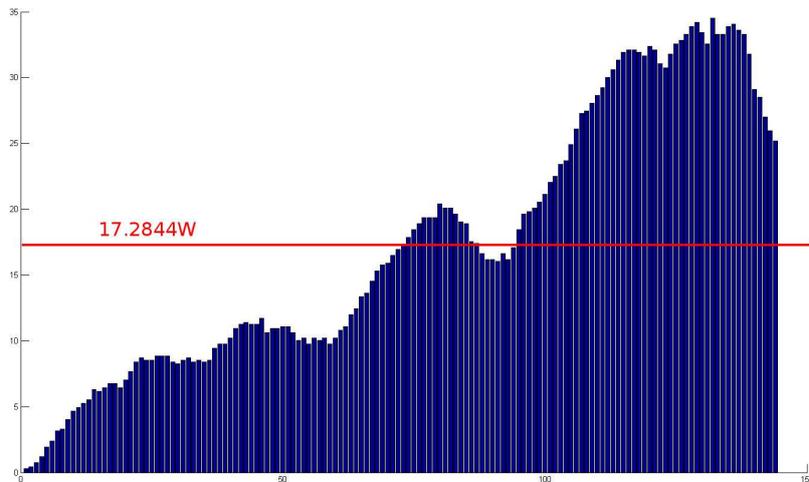


Figure 2.3.2: *Simulazione svolta con il passo di 10 minuti.*

Come si può vedere, una simulazione con risoluzione temporale maggiore consente di rilevare anche i comportamenti di breve durata che sono spesso trascurati nel corso di analisi di risoluzione minore.

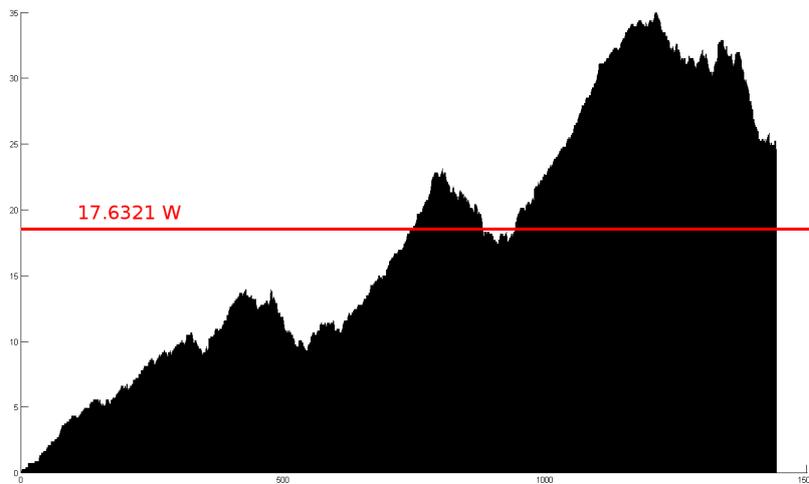


Figure 2.3.3: *Simulazione svolta col passo di 1 minuto.*

Va notato come, anche se la durata del picco di assorbimento risulta limitata nel tempo, l'ampiezza che talvolta raggiunge può anche essere molto elevata, e quindi il contributo in termini di potenza istantanea risulta non sempre trascurabile.

Quando si parla di profili, ci si riferisce ad una rappresentazione dell'andamento temporale delle richieste energetiche. E' però bene tenere a mente che in questo ambito, si ha a che fare con differenti profili, utilizzati per osservare fenomeni diversi. Se si è interessati ad un singolo dispositivo, allora il profilo che si andrà ad analizzare sarà relativo alla sola appliance in esame. Talvolta può essere necessario osservare il comportamento energetico su periodi di durata differente, e anche questo aspetto è rappresentato all'interno dei singoli andamenti. Un'ulteriore possibilità è quella di voler ottenere informazioni relative al comportamento globale di un serie di elettrodomestici, presentando quindi i dati in forma aggregata, oppure unendo ulteriormente i risultati, presentare un unico profilo riguardante più di un'abitazione, rendendo evidente il comportamento di un edificio o addirittura di un quartiere. In sostanza è sempre importante tenere a mente il grado di dettaglio delle informazioni che si vogliono ottenere, o rappresentare, e considerare anche questo aspetto quando si analizza un profilo di carico elettrico.

Considerando la progettazione di una rete di distribuzione, i picchi di potenza sono uno dei principali problemi con cui i progettisti si devono confrontare, è quindi utile che le rappresentazioni dei flussi di potenza di interesse siano caratterizzate da una adeguata risoluzione temporale, e da un'aggregazione di dispositivi idonea ad essere realistica per

2 Introduzione

l'ambito del progetto.

Dal punto di vista dell'utilizzazione della rete di distribuzione, invece, il dimensionamento dell'impianto è legato alla massima potenza che vi transita, indipendentemente dal fatto che questa sia mantenuta costantemente o solo per un periodo di durata limitata. Considerando un'aggregazione di carichi indipendenti, ciascuno di essi contribuisce al flusso di potenza richiesta istantaneamente in maniera propria, ed evidentemente non sincronizzata con gli altri carichi presenti. Si avranno quindi momenti in cui il dispositivo richiederà la massima potenza, altri in cui richiederà una potenza minima, ed altri ancora in cui non richiederà potenza affatto. Supponendo lo stesso comportamento per tutti i carichi che compongono il sistema, si avrà il flusso complessivo caratterizzato da fluttuazioni: quando si avrà la concomitanza di più carichi con un alto valore di assorbimento, si osserverà un picco nel flusso complessivo, mentre quando la concomitanza avverrà sui consumi minimi si otterrà un minimo anche nel flusso complessivo.

Ricordando però che si stanno considerando carichi collegati alla rete di distribuzione, cioè alimentati da una tensione alternata, è bene tenere a mente che si debbono considerare almeno due componenti per la potenza, la potenza attiva e la potenza reattiva. Non si intende trattare in maniera completa l'argomento in questa tesi, ma è bene fornire alcune precisazione sulle questioni legati a questa tipologia di analisi. Quando si lavora con carichi in regime sinusoidale, questi risultano interessati da tensioni e correnti del tipo $u(t) = U \sin(\omega t + a)$ e $i(t) = I \sin(\omega t + b)$. Si può iniziare considerando la potenza istantanea, ottenuta mediante il prodotto $p(t) = u(t)i(t)$. Il termine UI rappresenta la potenza apparente A , che quindi è data dal prodotto della tensione e della corrente. Poiché la tensione risulta imposta dalla rete, ed è controllata dall'ente di erogazione, il termine U si può considerare in prima approssimazione costante. Le variazioni sulla potenza apparente sono quindi generate da variazioni del termine corrente. Conviene ora fare riferimento alla potenza complessa, definita come: $S = P + jQ$ dove P è nuovamente la potenza attiva e Q rappresenta la potenza reattiva, espressa nella forma $Q = UI \sin(p)$, quindi $Q = A \sin(p)$. Interpretando la potenza come somma della componente attiva e reattiva, si vede che il massimo si raggiunge quando entrambi i termini appena descritti si trovano al loro rispettivo valore di picco, insieme. Questa è al condizione più onerosa, e quindi questa è quella su cui è necessario svolgere il dimensionamento dell'impianto.

Dal punto di vista delle rappresentazione dei flussi, la potenza attiva e quella reattiva possono essere considerate separatamente, poiché singolarmente vale la conservazione dei termini di potenza. Risulta quindi comodo, per tenere conto di questo aspetto, fare ricorso non ad una singola rappresentazione, ma a due flussi separati. Per il dimensionamento della rete inoltre, può essere utile considerare un parametro che definisca

2 Introduzione

l'efficienza della distribuzione della potenza rispetto alla sola componente di interesse, cioè la potenza attiva, in questo caso un parametro definito come $|S|/P$.

Il dimensionamento della rete di distribuzione, dovendo essere svolto sui valori di massimo, sarà tanto più oneroso quanto maggiore risulta la somma dei componenti presenti nella rete. Per ridurre questa condizione di massimo, così da ridurre i costi del sistema di trasmissione dell'energia, le strade percorribili sono molteplici, ma le più ovvie sono:

- ridurre il massimo della potenza che i singoli dispositivi richiedono, così che nel caso peggiore, cioè quello in cui tutti i carichi collegati assorbano il massimo, il picco di potenza risulti di entità inferiore;
- coordinare i carichi così che non chiedano mai tutti contemporaneamente più di una certa potenza.

Questa seconda ipotesi è quella che al giorno d'oggi sta ricevendo le maggiori attenzioni negli ambienti di ricerca, perché consente di migliorare il tasso di efficienza dell'impianto di trasmissione dell'energia e di aumentare la sostenibilità delle attività umane a livello ambientale, riducendo la massima potenza necessaria.

Per raggiungere questo ambizioso obiettivo, i progettisti dei controlli devono trovare algoritmi di controllo, previsione e adattamento dinamico dei collegamenti dei dispositivi alla rete elettrica, sincronizzando le accensioni, o limitando la potenza richiesta dagli stessi per garantire il rispetto dei vincoli che gli enti di erogazione impongono. Quindi un simulatore idoneo a questo scopo deve fornire non solo dei valori di potenze realistici, ma anche consentire di verificare l'efficacia di questi controlli, deve cioè essere semplice da controllare e modificare, fornendo i dati in maniera standard e di semplice interpretazione.

Un altro aspetto che in questi ultimi anni sta prendendo sempre più piede è quello legato all'introduzione a livello locale di sorgenti di energia, che si affiancano nella topologia della rete alle fonti di distribuzioni generali attualmente presenti (come i grandi elettrodotti), e che possono contribuire a ridurre la dipendenza dalle fonti energetiche non rinnovabili. Tuttavia per sfruttarle adeguatamente, queste sorgenti locali devono essere utilizzate in sinergia con quelle tradizionali, dato che non consentono di garantire l'indipendenza del sistema in un funzionamento ad isola.

Allo stato attuale di queste tecnologie (pannelli fotovoltaici, generazione eolica, etc) gli impianti per la produzione locale dell'energia riescono a contribuire a sopperire a picchi di consumi che si possono avere nel corso della giornata, consentendo quindi di richiedere in generale una minore potenza dalla grande distribuzione.

Considerando ora lo storage, questo ha un duplice effetto, in primo luogo riduce i consumi generali, quindi permette di ottenere un reale risparmio sulla tariffazione dell'energia

2 Introduzione

elettrica, e in secondo luogo consente ai gestori della distribuzione energetica di utilizzare minori risorse, sia materiali che monetarie, per svolgere il loro compito, ad esempio riducendo la potenza di picco sull'elettrodotto si possono utilizzare conduttori di sezione inferiore, e quindi meno costosi. Nel caso sia disponibile una potenza generata dalle fonti rinnovabili, il sistema potrebbe fare uso di sistemi di storage per accumularla e renderla disponibile in un secondo momento, qualora se ne rendesse necessario. Ancora, il compito del controllo in questo ambito è però fondamentale; è necessario predisporre sistemi di misurazione sulle potenze, e punti di controllo dei flussi generati dalle sorgenti locali per sopperire ad un aumento dei consumi senza richiedere la maggior potenza dalla rete di distribuzione principale. Il sistema di controllo deve quindi poter provvedere a monitorare lo stato degli storage, e deve essere in grado di utilizzarli efficacemente. Dal punto di vista simulativo, quindi, uno strumento utile per questo tipo di compito deve prevedere la possibilità di considerare la generazione locale delle potenze e il comportamento di punti di storage.

Un ulteriore aspetto strettamente legato al controllo è la gestione delle componenti reattive delle potenze, non a livello della singola appliances, ma ad un livello maggiore, ad esempio per abitazione o addirittura per edificio. Un sistema in grado di monitorare il consumo in termini di potenza reattiva potrebbe, controllando in maniera opportuna gli inneschi dei carichi presenti, bilanciare i comportamenti induttivi e capacitivi che si vengono a manifestare nell'utilizzo delle apparecchiature elettriche, riducendo ulteriormente le necessità del dimensionamento degli impianti di distribuzione per migliorare l'efficienza complessiva e portare ad un'ulteriore abbattimento dei costi.

Un simulatore con tutte queste caratteristiche risulta evidentemente molto complicato, ma nel corso del lavoro di questa tesi si sono costruite le basi di ergonomia e di simulazione necessarie allo scopo, consentendo ad eventuali miglioramenti futuri di seguire le linee guida più adatte al miglioramento verso ciò che potrà essere richiesto.

3 Considerazioni Preliminari

Il lavoro di tesi è iniziato svolgendo alcune considerazioni preliminari riguardo agli obiettivi richiesti.

Andiamo ora ad introdurre alcuni concetti utilizzati nel seguito di questo capitolo, al fine di spiegare il significato che è stato attribuito durante il lavoro ai vari termini riportati e per rendere più chiara la presentazione che segue. Col termine *unità* si è inteso in senso generalizzato un luogo, caratterizzato dalla presenza di un certo numero di apparati elettrici. Alcuni esempi di unità sono appartamenti, uffici e garage. La simulazione del flusso di potenza istantanea in un'unità è stata interpretata come la sovrapposizione, al più pesata per opportuni coefficienti, dei flussi che interessano istantaneamente le singole appliances che vi si trovano. Col termine *appliance* si è inteso un generico apparato elettrico, che risulta caratterizzato da un andamento temporale del flusso di potenza che lo interessa. L'appliance risulta quindi essere l'unità minima oggetto delle simulazioni su cui il presente lavoro si basa. In generale il flusso di potenza in un'appliance è stato considerato come bidirezionale e si è adottata la convenzione degli utilizzatori, comune in ambito elettrotecnico, per la sua caratterizzazione. Si utilizza il segno positivo per indicare un consumo di potenza ed il segno negativo per indicare una generazione. Le grandezze fondamentali per la simulazione di un'appliance sono state individuate in:

- durata del ciclo di accensione (ciclo di ON);
- durata del ciclo di spegnimento (ciclo di OFF);
- risoluzione temporale: questo parametro è utile per consentire una più snella rappresentazione del ciclo di funzionamento all'interno del programma di disegno carichi;
- potenza massima consumata (con segno): indica la massima potenza che il dispositivo consuma (o genera, a seconda del segno adottato);
- potenza di stand-by;
- risoluzione delle potenze: come per la risoluzione temporale, questo parametro è utile per semplificare la procedura di disegno del profilo di carico per l'appliance in esame.

3 Considerazioni Preliminari

Il compito di simulare con adeguata precisione e risoluzione l'andamento della potenza richiesta da una singola unità, sia essa abitativa o lavorativa, richiede come prima cosa di stabilire quali caratteristiche della simulazione si considerino fondamentali e quali invece risultino di scarso interesse per l'obiettivo che ci si prefigge. Dal punto di vista del controllo dei flussi delle potenze, si è stabilito come fosse imprescindibile una simulazione verosimile dal punto di vista statistico degli andamenti dei consumi istantanei per i singoli elettrodomestici e per l'aggregazione degli stessi all'interno dell'unità che verrà successivamente simulata. Allo stesso modo rivestono un ruolo principale una adeguata risoluzione temporale, che si è deciso essere dell'ordine del minuto, e i valori che il consumo può assumere.

Nelle fasi iniziali del lavoro si sono prese in considerazione le caratteristiche che gli elettrodomestici presentano, al fine di consentirne una adeguata modellizzazione. Gli aspetti di interesse individuati sono stati:

- andamento temporale della potenza richiesta per ciclo di funzionamento;
- frequenza di utilizzo su base giornaliera;
- durata del ciclo di funzionamento.

La risoluzione temporale della simulazione è stata subito individuata come una priorità. In letteratura, diversi gruppi di ricerca hanno svolto un lavoro analogo, dal punto di vista simulativo, a quello presentato in questo lavoro di tesi con risoluzioni temporali differenti in funzione dei diversi obiettivi. I principali intervalli scelti sono di uno, cinque e quindici minuti, e hanno portato ad osservazioni talvolta non confrontabili fra loro. In questo lavoro, volendo arrivare ad ottenere uno strumento utile per svolgere valutazioni su modelli di controllo dei flussi di potenze istantanei, come presentato in [5], si sono voluti evitare gli effetti di media che un intervallo di simulazione dell'ordine di quindici minuti presenta, scegliendo quindi il massimo della risoluzione disponibile. Richiedendo sin da subito che il passo minimo di simulazione sia del minuto, si è imposto un limite sul numero di passi che la simulazione giornaliera deve presentare e si sono vincolate alcune delle caratteristiche che il comparto software per la simulazione avrebbe dovuto rispettare, ottenendo in questo modo alcune restrizioni progettuali per il software.

Ulteriori considerazioni sono state necessarie per stabilire alcuni importanti punti della procedura di simulazione. Come è ben noto, ciascun apparato (quindi ciascuna appliance) è caratterizzato da uno specifico profilo di carico, che descrive l'andamento temporale del flusso di potenza generato da e verso la rete dal dispositivo stesso. Per generare una simulazione massimamente aderente alla realtà, sarebbe quindi necessario utilizzare i profili

3 Considerazioni Preliminari

corretti per ciascuna appliance che si vada a simulare. Volendo ottenere questi andamenti è indispensabile essere in possesso delle specifiche complete per i singoli apparati, o svolgere una serie di misurazioni con opportuni strumenti di misura durante il loro utilizzo in condizioni di normale uso. Inoltre anche l'andamento dei flussi di potenze per una stessa appliance non si ripete uguale a se stesso in cicli consecutivi, ma spesso dipende da caratteristiche esterne, quali la temperatura ambientale e le scelte da parte dell'utente. Quindi, anche ipotizzando di copiare adeguatamente gli andamenti, la simulazione basata sulla ripetizione dei singoli cicli di utilizzo porterebbe a risultati non corretti dal punto di vista della sovrapposibilità degli andamenti.

Considerando inoltre che la gran parte delle attività umane, se prese singolarmente, sono caratterizzate da un elevato grado di stocasticità (ad esempio le accensioni di una televisione non saranno mai svolte sempre alla stessa ora) che ne rende la perfetta ricostruzione impossibile, si è deciso di semplificare il modello delle varie appliances in modo tale da ottenere gli andamenti con caratteristiche di interesse verosimili, quali la presenza di picchi di consumi e variabilità negli apparati utilizzati, ma suddividendo le appliances in alcune tipologie principali.

Osservandole dal punto di vista dell'andamento dei flussi, le appliances si sono divise in due categorie principali:

- profilo di carico dipendente dal tempo, che quindi fanno uso di profili disegnati mediante ApEd (ad esempio i possibili cicli di lavaggio di una lavatrice);
- profilo di carico con flussi costanti durante la fase di accensione, in questo caso la simulazione è stata svolta utilizzando i dati sulla potenza consumata e generando un gradino di tale ampiezza che ha durata pari alla fase di ON.

Andando ad osservare poi il comportamento temporale delle accensioni, le appliances sono state suddivise nelle seguenti categorie:

- dispositivi che presentano un andamento ciclico, grossomodo indipendente dagli interventi dell'utilizzatore (ad esempio un frigorifero o un congelatore);
- dispositivi che richiedono un intervento di accensione da parte dell'utilizzatore e che sono usati con una frequenza giornaliera elevata (ad esempio televisori o radio);
- dispositivi che richiedono un intervento di accensione da parte dell'utilizzatore e sono usati generalmente al più una volta al giorno (ad esempio lavatrici).

In base a queste suddivisioni si intravedono alcuni modelli differenti necessari a descrivere i comportamenti di appliances diverse. Ad esempio, per la simulazione di uso di un

lettore CD, si è supposto un consumo costante durante la fase di ON, di ampiezza pari alla potenza nominale dichiarata dal costruttore, ed un suo utilizzo pseudo-ciclico nel corso della giornata. In una successiva sezione della tesi si discuteranno più in dettaglio le caratteristiche dei modelli utilizzati nelle simulazioni.

Al fine di snellire le procedure di simulazione, si è deciso di suddividere il framework di analisi in tre programmi distinti:

- ApEd;
- ApSim;
- Aggregator.

Il primo componente progettato e realizzato è stato ApEd (abbreviazione di Appliance Editor) e costituisce il programma sviluppato per disegnare i profili del consumo per le singole appliances. Consente di disegnare in modo grafico gli andamenti dei profili, salvarli e caricarli. Il formato utilizzato per queste operazioni è il CSV.

ApEd è stato inoltre utilizzato come visualizzatore per gli andamenti generati dagli altri componenti software, ed inoltre è stato adattato per consentirne la modifica, così da poter introdurre nell'esito della simulazione alcune caratteristiche non considerate per via matematica dal modello utilizzato.

Il componente ApSim è stato il secondo componente realizzato. Questo è costituito da uno script in matlab che a partire da alcuni dati forniti per la descrizione dell'appliance consente di ottenere per via statistica un andamento per le accensioni e gli spegnimenti del dispositivo in corso di simulazione. All'interno di ApSim vengono svolte le operazioni di simulazione matematica che hanno richiesto una serie di validazioni e considerazioni per ottenere una sequenza verosimile al normale utilizzo per i singoli apparecchi, quindi è necessario tarare i parametri utilizzati al suo interno per ciascun dispositivo da simulare. ApSim, inoltre, salva i dati generati in formato CSV compatibile con quello utilizzato da ApEd.

L'ultimo componente realizzato è stato Aggregator. Questo script matlab legge i dati generati da ApSim e li combina fra loro al fine di ottenere l'andamento della potenza istantanea complessivamente richiesta o generata dall'unità in corso di simulazione. Anche Aggregator salva i dati generati in formato CSV.

3.1 Raccolta dati

La realizzazione di modelli matematici idonei alla simulazione dei profili di carico per generiche appliances è di per sé un lavoro che necessita di particolare attenzione. Non è

3 Considerazioni Preliminari

possibile procedere per interpolazione di una serie di valori misurati, tranne che in pochi semplici casi, ma è necessaria una fase molto lunga di osservazione svolta su dati raccolti per via sperimentale.

Reperire i dati richiesti per questa fase del lavoro è stato un impegno importante, ma necessario. La via preferenziale per questo tipo di attività dovrebbe essere quella sperimentale, svolgendo delle misure sul campo, e andando quindi a valutare nelle reali condizioni di utilizzo, i consumi dei dispositivi. Il numero di misurazioni da svolgere dovrebbe essere elevato, infatti i comportamenti anche di uno stesso modello di elettrodomestico sono influenzati da innumerevoli fattori esterni, quindi un'analisi di tipo statistico è necessaria per giungere ad un profilo realmente utilizzabile ed interpretabile, che consenta di estrapolare i parametri di riferimento per il modello simulato. Chiaramente questa operazione avrebbe richiesto una quantità di risorse, sia dal punto di vista del tempo impiegato che sotto il profilo economico, notevole. Per queste ragioni si è deciso di procedere con una minuziosa raccolta dati da varie fonti tramite internet, e si sono quindi utilizzati i risultati dei vari report relativi a questo tipo di analisi che la comunità europea ha commissionato a vari enti di ricerca, fra i quali diverse università o organizzazioni ad essa legate e preposte alla raccolta di questo tipo di statistiche. Sfortunatamente i risultati presentati in questi lavori non sono relativi al territorio nazionale italiano, ad eccezione di [7], e spesso sono raccolte di dati svolte da parecchi anni, e quindi non in linea con i moderni profili di consumo per le varie appliances. Inoltre generalmente i dati sono stati presentati sotto forma di diagramma mediato su un numero variabile di ambienti di prova, e quindi anche risultati relativi allo stesso apparato, come ad esempio una televisione, non sono facilmente estrapolabili, non essendo forniti in via tabulata.

4 Progettazione Dell'Editor ApEd

Il componente ApEd è stato il primo software progettato all'interno del lavoro di tesi. La sua importanza è stata identificata sin dalle fasi preliminari dello studio del problema di cui la tesi si occupa: la necessità di avere a disposizione delle forme d'onda particolari, modellate sul reale comportamento di un dispositivo, è infatti molto importante per identificare il comportamento temporale del flusso di potenza richiesto o generato.

Tenendo a mente l'obiettivo del simulatore, cioè essere un supporto affidabile per coloro che studiano i sistemi di controllo a livello piccola e media potenza delle reti elettriche, le componenti impulsive caratteristiche delle singole appliances devono essere mantenute, sono infatti quelle il punto cruciale del controllo dal punto di vista del real time processing.

Nel corso del lavoro inoltre, ApEd è anche stato adattato ad essere utilizzato come sistema di visualizzazione dei risultati intermedi prodotti dagli altri componenti della suite di simulazione, così da avere un'uniformità nella visualizzazione utile al confronto.

La capacità di ApEd di editare in real time le forme d'onda visualizzate consente di alterare gli esiti delle simulazioni, così da aggiungere componenti di interesse in casi particolari, quali improvvisi picchi di brevissima durata che non risultano dall'effettiva simulazione ma che dal punto di vista delle strategie di controllo possono essere interessanti per valutare il comportamento in casi estremi della strategia adottata.

4.1 Progettazione e sviluppo di ApEd

La realizzazione del programma ApEd è iniziata con un'analisi legata alle necessità di interfaccia e di calcolo che il programma avrebbe dovuto presentare. Un programma di questo tipo non può che presentare un'interfaccia grafica idonea allo svolgimento del lavoro per cui il software è stato progettato, e quindi è stato necessario individuare un tool di sviluppo in grado da garantire la possibilità di sviluppare un'interfaccia utente sufficientemente semplice. Anche la portabilità del programma è stata presa in considerazione come una feature fortemente consigliata, infatti questa caratteristica consente di semplificare di molto lo sviluppo, facendo in modo che la realizzazione del programma risulti del tutto indipendente dal sistema operativo su cui questo sarà successivamente

utilizzato. Stabiliti questi due primi punti fermi, e volendo utilizzare le nozioni che il corso di laurea ha fornito, il linguaggio di programmazione che si è scelto per questa fase dello sviluppo è stato Java, che fornisce sia la portabilità che la possibilità di realizzare le interfacce utente richieste.

Per quanto riguarda lo sviluppo inteso come stesura del codice e disegno dell'interfaccia, si è cercato un IDE (Integrated Development Enviroment) che semplificasse quanto più possibile la realizzazione dell'interfaccia utente. Nonostante il ben più blasonato Eclipse, il quale fornisce la possibilità di disegnare l'interfaccia tramite un plugin disponibile online, si è deciso di optare per l'ambiente di sviluppo NetBeans [10], che consente questo tipo di operazione out-of-the-box, riducendo la necessità di impostazioni da parte dell'utente che volesse modificare il programma per adattarlo alle proprie esigenze.

Utilizzando le funzioni di editing messe a disposizione da questo strumento di sviluppo, si è come prima cosa provveduto a disegnare l'interfaccia grafica, disponendo i componenti base necessari. Una delle funzioni che sin da subito si sono identificate come evidentemente fondamentali è stata la rappresentazione per via grafica dei dati (simulati o disegnati) relativi al flusso delle potenze, così da rendere immediatamente evidente il risultato delle operazioni di modifica e progettazione delle forme d'onda per le appliances.

Come sistema di visualizzazione, anche per uniformarsi alle altre forme di visualizzazione utilizzare in letteratura nei lavori consultati, si è optato per una soluzione del tipo diagramma a barre, che rende evidente la discretizzazione dell'asse dei tempi, lasciando libero l'utente se utilizzare una tale discretizzazione anche per l'asse delle potenze, o meno. Il linguaggio Java, anche se ricco di funzionalità, non offre nativamente delle funzioni atte a produrre una visualizzazione analoga a quella richiesta dal prodotto software progettato, quindi si è deciso di considerare l'utilizzo di librerie esterne allo scopo di ottenere questa funzionalità. Anche per la ricerca delle librerie si è proceduto in modo metodico, individuando le funzionalità minime richieste, e la necessità che il costo fosse contenuto.

Dopo aver considerato alcune alternative e svolti alcuni test per verificare che le funzionalità richieste fossero presenti, si è deciso di optare per la libreria JfreeChart [11], una libreria gratuita, in cui l'unico componente a pagamento è costituito dalla documentazione e da una serie di esempi. L'importazione nell'ambiente NetBeans di questo componente non ha presentato problemi di sorta e l'utilizzo è stato possibile in tempi molto rapidi. Per quanto riguarda l'utilizzo a livello di linguaggio di programmazione Java, si sono studiati gli esempi gratuiti forniti a corredo del pacchetto della libreria e in tempi ragionevoli si è raggiunto il grado di controllo richiesto per inserire all'interno del progetto il componente grafico richiesto. E' bene precisare che la libreria JfreeChart

si appoggia su di una seconda libreria, dello steso produttore, Jcommon, e quindi anche questa risulta fra i componenti presenti all'interno del prodotto software.

4.2 Descrizione di ApEd

ApEd è, come già introdotto, il componente che si occupa di “disegnare” le forme d'onda del consumo per una data appliance. Questo procedimento è stato reso il più semplice e rapido possibile per migliorare l'ergonomia del processo di editing.

All'utente sono presentate due diverse sezioni, selezionabili nella parte alta della schermata, una per l'editing dell'andamento temporale dei flussi di potenze, e una per impostare o consultare i parametri descrittivi del dispositivo in corso di modifica.

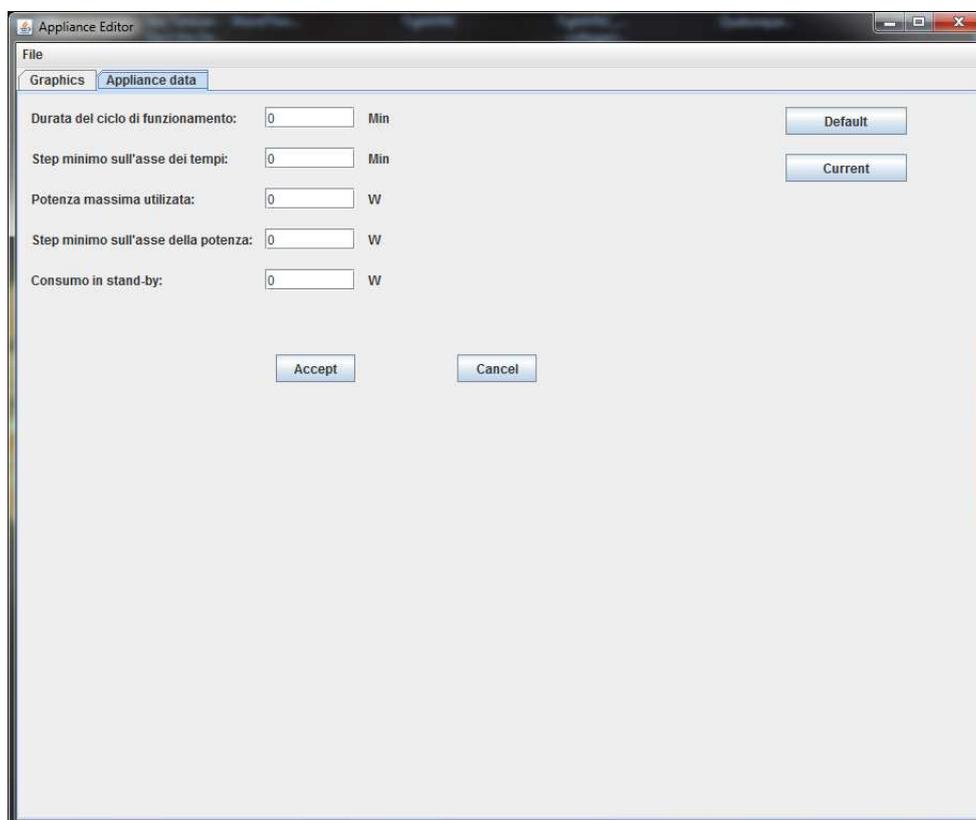


Figure 4.2.1: Screenshot relativo alla schermata dei parametri dell'appliance

A ciascuna appliance sono associati alcuni parametri descrittivi che consentono ad ApEd di utilizzarla e di gestirne il processo di modellazione.

Tali parametri sono:

4 Progettazione Dell'Editor ApEd

- Durata del ciclo di funzionamento (in minuti): è la durata complessiva del ciclo di ON, e non vincola la possibilità di spegnimenti intermedi alle fasi di utilizzo;
- Step minimo sull'asse dei tempi (in minuti): questo parametro definisce la durata in minuti di ciascuno degli intervalli in cui la durata della fase di ON è suddivisa. Ogni modifica è applicata al singolo step selezionato, quindi utilizzando una durata bassa si ha un controllo fine sull'andamento temporale del flusso nel corso della fase di ON, mentre una durata maggiore velocizza l'editing a scapito della risoluzione;
- Potenza massima utilizzata: questa voce definisce la massima potenza che l'apppliance utilizza nel corso della fase di ON;
- Step minimo sull'asse della potenza: come per l'omologo sull'asse dei tempi, questo parametro descrive la risoluzione con la quale si può impostare la potenza che il dispositivo richiede o genera nell'istante selezionato. Un elevato valore riduce la precisione della forma d'onda ricostruita a favore di una maggior velocità nel disegnarla;
- Consumo in stand-by: come suggerito dal nome, questo parametro consente di fornire il valore da utilizzare nelle fasi di stand-by per il dispositivo. Questo valore viene utilizzato anche in tutte le successive fasi della simulazione al fine di tener conto dell'effetto di questa condizione operativa quando il dispositivo non risulta essere utilizzato.

La sezione dedicata all'editing è rappresentata in un'unica pagina, così da rendere le operazioni necessarie il più rapide ed intuitive possibili.

Al centro della finestra è presentato il diagramma che rappresenta l'attuale profilo del flusso di potenza (per una nuova appliance sarà vuoto). Attorno a questo diagramma sono presentate le scale di riferimento e degli slider che costituiscono un primo modo per selezionare l'istante temporale su cui agire e il rispettivo valore di potenza. Una volta selezionati i valori richiesti, premendo sul pulsante SET, i valori sono carica e reimpostati in accordo con la scelta dell'utente. Vicino a ciascuno slider, un campo di testo con relativa unità di misura consente di visualizzare l'attuale valore di potenza per lo step temporale selezionato, come pure di specificare a mano lo step temporale e/o il valore di potenza che si desidera impostare; questi valori verranno cambiati con la pressione del tasto SET. Per garantire il massimo della flessibilità, mentre lo slider dei tempi è bloccato agli istanti temporali richiesti, cioè è possibile alterare solo i singoli intervalli, lo slider delle potenze consente anche di impostare valori di potenza non necessariamente corrispondenti al passo minimo. E' comunque possibile attivare questa opzione nella

4 Progettazione Dell'Editor ApEd

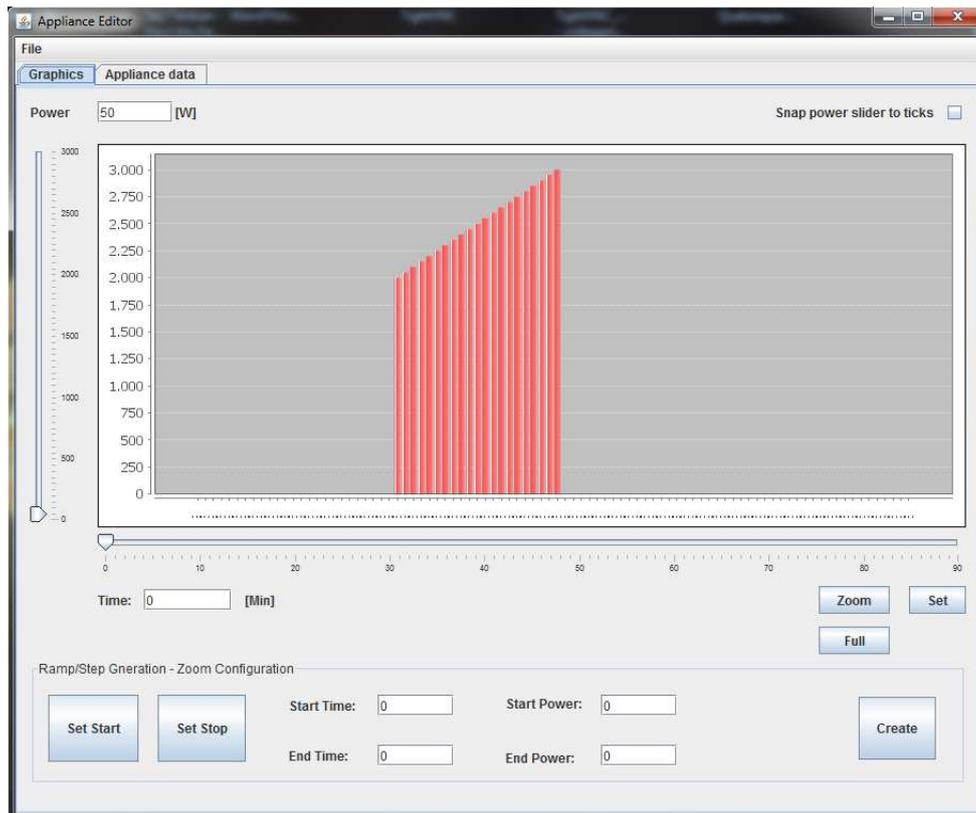


Figure 4.2.2: Screenshot relativo alla schermata della rappresentazione dell'andamento del flusso

parte alta a destra, appena al di sopra del grafico, spuntando la voce “Snap power slider to ticks”.

Spesso osservando gli andamenti temporali delle potenze consumate dai dispositivi si riconoscono porzioni che sono molto ben approssimabili con rampe o gradini. Per velocizzare la creazione di pattern di questo tipo, nella parte bassa della sezione di editing si trovano i comandi relativi a questo tipo di forme. Quattro campi di testo consentono di specificare gli istanti di inizio e fine per la rampa, e i valori di potenza iniziale e finale. Una volta che questi campi sono stati completati, col pulsante CREATE, ApEd genera il raccordo richiesto direttamente sul grafico.

Gli istanti iniziali e finali, come anche i valori di potenza iniziali e finali, possono anche essere selezionati mediante gli slider vicino al grafico e impostati con l'ausilio dei bottoni SET START e SET STOP rispettivamente. Volendo generare un semplice gradino, l'utente necessita solo di impostare i valori di potenza iniziali e finali sullo stesso valore.

Fra i vincoli di progetto, di cui abbiamo già parlato (Capitolo 1), la risoluzione temporale del minuto è stata individuata come un obiettivo primario per gli scopi che il simulatore deve raggiungere. Svolgendo un rapido calcolo, la precisione del minuto equivale ad una simulazione giornaliera costituita da 1440 passi, una quantità enorme di punti per una visualizzazione corretta. Per ovviare a questo inconveniente, e per garantire all'utente comunque la possibilità di alterare il singolo minuto, si è introdotta anche la possibilità di utilizzare la funzione di zoom all'interno di una sezione specificata dell'asse dei tempi. Questa funzione ben si inserisce nel contesto di ApEd, utilizzando di fondo la stessa procedura richiesta per la generazione di una rampa, ma considerando solo i valori di istanti iniziali e finali come estremi dell'intervallo all'interno del quale svolgere lo zooming.

4.3 Formato dei file

ApEd è utilizzato sia come editor di profili, che come sistema di visualizzazione per le successive fasi del processo simulativo. E' stato allora naturale cercare un formato in cui salvare e caricare i file che fosse comune a tutti gli ambienti utilizzati, o almeno facilmente implementabile, e che offrisse la libertà di operare che un progetto come quello di questa tesi richiede. Dopo aver studiato varie opzioni, si è deciso di utilizzare il formato CSV (comma separated values), un formato utilizzato da diversi prodotti software (fra i quali anche Microsoft Office ed OpenOffice) perché consente di utilizzare anche in questi ambiti gli esiti delle simulazioni.

Questo formato è ben noto, anche se non è completamente standardizzato. In effetti non esiste un unico standard che definisca i caratteri da utilizzare per la separazione dei campi presenti nel file, o per indicare il termine di una riga e l'inizio della successiva, cosa che richiede una certa attenzione essendo il CSV un formato basato su una codifica dei dati contenuti al suo interno non binaria ma in chiaro.

Per gli scopi di questo lavoro si è proceduto ad analizzare i dati che avrebbero dovuto essere salvati all'interno dei file, sia dal punto di vista dell'uso che da quello della loro rappresentazione matematica, e si è deciso che la soluzione che garantisce la maggior interoperabilità è quella utilizzata e di seguito riportata:

- una serie di 5 campi iniziali che contengono i parametri descrittivi dell'appliance come descritto precedentemente in ApEd, nello stesso ordine sopra citato;
- una sequenza costituita da tutti i singoli valori di potenza per gli step della simulazione;
- il carattere di separazione adottato è stata la virgola (,) che è risultato essere quello più frequentemente utilizzato anche in altri ambiti.

Grazie alla scelta di adottare questa convenzione, è stato possibile confrontare i risultati della visualizzazione sia in ApEd, che mediante script di supporto in matlab, che all'interno di tools quali fogli di calcolo (OpenOffice Suite).

4.4 Esempio di utilizzo: nuova appliance

E' opportuno presentare un esempio di utilizzo per il programma ApEd, così da chiarire la procedura da seguire per il suo utilizzo. Nel caso specifico si procederà alla realizzazione di un semplice profilo di consumo, caratterizzato da una rampa iniziale, seguita da un consumo costante, e quindi da uno spegnimento.

Dopo aver aperto il programma ApEd, viene subito mostrata la schermata di editing, questa è presentata nella tab "Graphics". Dato che non sono stati forniti dati, al momento sono impostati i valori di default, ed il diagramma delle potenze è vuoto. Come prima cosa è necessario impostare i valori descrittivi corretti per il dispositivo sotto esame. Per fare questo, si selezionerà la tab "appliance data".

In questa tab sono raccolti i campi che rappresentano i parametri descrittivi principali per il dispositivo corrente. Selezionando "default" verranno mostrati i valori di default impostati, mentre "current" mostrerà i valori correntemente impostati, a questo punto i dati saranno uguali in entrambi. Ora, supponendo che il ciclo di funzionamento duri

50 minuti, impostiamo a 50 il valore in “Durata del ciclo di funzionamento”, e confermiamo con la pressione del tasto Enter. Lasciamo a 1 minuto lo “step minimo sull’asse dei tempi”, così da ottenere la massima risoluzione temporale utilizzata nelle simulazioni. Considerando un elettrodomestico con un consumo massimo di potenza di 1kW, impostiamo a 1000 il valore di “Potenza massima utilizzata”, e confermiamo con Enter.

Per quanto riguarda la risoluzione sull’asse delle potenze, per questo esempio consideriamo un “passo minimo sull’asse delle potenze” di 100W, scriviamo quindi 100 nel rispettivo campo e confermiamo come fatto in precedenza. Supponiamo inoltre che il dispositivo non presenti un consumo in stand-by, quindi lasciamo a 0W l’omonimo campo.

Abbiamo ora selezionato i corretti valori per l’appliance, confermiamoli e impostiamoli premendo il pulsante “Accept”. Provando ora a visualizzare i valori di default e current, si dovrebbe vedere come current mostri i dati da noi impostati.

Passiamo ora alla fase di disegno, selezionando la tab “Graphics” e tornando così alla schermata relativa all’editor di profilo. I valori sugli assi del grafico sono cambiati per adattarsi ai nuovi valori che abbiamo inserito. Ora possiamo procedere col disegno del profilo.

Abbiamo già visto che necessitiamo di due sezioni principali, una prima rampa crescente dal valore 0W a 1000W, seguita da una regione costante a 1000W. Iniziamo con la rampa. Per comodità nel disegno attiviamo l’opzione “Snap power slider to ticks”, che consente di spostare lo slider delle potenze solo di un numero intero di suddivisioni sull’asse delle potenze (lo step minimo coincide con quello impostato nella tab “appliance data”). Portiamo entrambi gli slider alla posizione 0, e selezioniamo il pulsante “Set start” nel pannello in basso. Supponendo una durata di 10 minuti per la rampa, impostiamo 1000W sullo slider delle potenze, e 10 minuti su quello dei tempi, e premiamo su “Set Stop”. In alternativa si possono anche impostare a mano i valori “End Time” e “End Power” nei campi di testo in basso, avendo cura di confermare con enter ciascun valore immesso. Selezionando ora il pulsante “Create”, il profilo della rampa sarà calcolato e mostrato sul grafico.

Andiamo ora a creare la parte di consumo costante, della durata di 30 minuti. Lasciamo a 1000W lo slider della potenza e portiamo lo slider del tempo al minuto 11. Selezioniamo il pulsante “Set Start”. Lasciando inalterato il valore della potenza, portiamo lo slider del tempo al minuto 41, e selezioniamo “Set Stop”. Premendo “Create” si crea la sezione costante del profilo, che si raccorderà perfettamente con la rampa creata in precedenza.

Supponiamo ora di voler far terminare la fase costante con un unico punto a 500W, portiamo lo slider del tempo al minuto 42, e impostiamo a 500W quello delle potenze. Selezionando il pulsante “Set” verrà alterato solo il valore indicato. Alla stessa maniera

4 Progettazione Dell'Editor ApEd

è possibile cambiare valori precedentemente impostati. Se ora vogliamo salvare il profilo di carico, è sufficiente selezionare “File” → “Salva” dalla barra dei menu, nella parte alta della finestra.

5 Algoritmi di Simulazione

Come già detto in precedenza, l'obiettivo del lavoro di tesi è quello di realizzare un sistema di simulazione per i flussi di potenza generati a vari livelli da dispositivi elettrici. Il livello più basso della simulazione riguarda le singole appliances.

La simulazione di queste unità base passa per alcuni passi fondamentali: stabilire se il dispositivo appartenga o meno alla categoria di appliances per cui ha importanza un profilo di consumi non uniforme (o approssimabile come tale) durante il periodo di accensione; definire il numero di accensioni giornaliere per il dispositivo;

Le considerazioni appena svolte aiuteranno a realizzare la simulazione nel modo più aderente alla realtà possibile. Nel caso sia necessario, è fondamentale disegnare il flusso di potenza mediante ApEd, in modo quanto più possibile corretto rispetto al profilo energetico per il dispositivo sotto analisi.

In letteratura si trovano diversi approcci alla simulazione, ma tutti quanti, volendo mantenere al meglio le caratteristiche temporali del comportamento partono da una medesima osservazione: affinché un elettrodomestico venga acceso, è necessario che vi sia un utente a compiere tale operazione, per questo il primo passo svolto consiste nel modellare in modo veritiero la presenza delle persone all'interno delle unità. A partire da questo dato si stimano le attività svolte all'interno dell'abitazione dai presenti e in base alle attività si modellano le accensioni per gli elettrodomestici collegati con tali attività.

In effetti questo ragionamento è perfettamente lecito e ragionevole, tuttavia la tendenza attuale dei mercati è quella di dotare il maggior numero possibile di prodotti di timer per l'accensione, e anche dal punto di vista del mercato delle energie, il processo di mutamento è tale per cui si sta sviluppando l'idea di controllare le accensioni e di stimolare gli usi in fasce orarie scaglionate, per ridurre i sovraccarichi e uniformare i tassi di utilizzo della linea.

Un altro importante fattore da tenere in considerazione è che la differenziazione per fasce orarie nei rapporti costo/consumo sono un incentivo ad adottare una ripartizione delle richieste energetiche più efficiente, e proprio questi vantaggi di tipo monetario possono spingere gli utenti ad adottare un "comportamento energetico" ben diverso da quello che fino ad oggi hanno tenuto.

Nell'ottica poi di una possibile diffusione di mezzi di trasporto a propulsione elettrica, si può immaginare come le ore notturne siano destinate a divenire quelle di principale utilizzo per le fasi di ricarica. In virtù di queste osservazioni, si è deciso di abbandonare questo stretto legame fra la correttezza temporale delle precedenti metodologie di simulazione in favore di un più semplice modo di distribuire gli utilizzi nell'arco giornaliero, meno legato alla dipendenza dalla diretta attività dell'utilizzatore.

Per ottenere gli andamenti presentati in questo lavoro di tesi, si è fatto ricorso a due diversi approcci di simulazione, il primo utilizza un'approssimazione poissoniana delle distribuzioni di accensione per il dispositivo sotto esame, il secondo invece fa uso del costruito matematico delle mappe caotiche per la generazione dei profili energetici di consumo del dispositivo e dell'unità.

5.1 Approssimazione di Poisson

Osservando gli andamenti energetici per varie categorie di elettrodomestici, si ha l'impressione che le accensioni siano disposte in modo quasi-aleatorio durante il periodo giornaliero. Volendo rappresentare una distribuzione di questo tipo, la prima idea che viene alla mente è sicuramente quella di modellizzare le accensioni con un andamento di tipo poissoniano, e dato che anche il periodo di ON risulta essere in qualche maniera casuale, lo si può voler modellizzare con una distribuzione di tipo uniforme compresa fra un valore minimo e una durata massima per l'utilizzo. Questo approccio è stato praticamente seguito durante le fasi iniziali delle simulazioni.

Una distribuzione di Poisson, è una distribuzione utilizzata in ambito dello studio probabilistico per definire la probabilità che un certo numero di eventi si manifesti in un dato periodo temporale. Un processo di Poisson è quindi un processo discreto che consente di contare nell'unità di tempo il numero di eventi che si manifestano. Le ipotesi per l'applicazione di questo processo sono due: la conoscenza a priori del numero medio di eventi che accadono nell'unità di tempo e l'indipendenza fra gli eventi stessi.

La descrizione statistica completa è ottenibile mediante la seguente distribuzione di massa:

$$p(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

Per una definizione completa di un processo di Poisson è necessario un solo parametro, il numero medio di eventi nell'unità temporale (chiamato intensità del processo e indicato con la lettera greca λ). Poiché la distribuzione di Poisson può essere interpretata come

un caso limite della distribuzione binomiale, risulta evidente come questa possa essere collegata ai tempi di attesa necessari ad ottenere un generico evento considerato come un “successo” dopo un certo numero di “insuccessi”. Infatti, dalla distribuzione di Poisson è possibile descrivere il tempo medio prima del successivo evento “successo”, che negli scopi di questa tesi può essere considerato come l’accensione del dispositivo, dopo l’istante attuale mediante una distribuzione esponenziale opportunamente collegata al numero medio di successi λ :

$$N = e^{\frac{-1}{\lambda}}$$

dove N indica il numero di intervalli da attendere prima del successivo ON.

Questo andamento per le fasi di accensione è stato utilizzato nel corso delle simulazioni svolte con il modello di Poisson.

Utilizzando questo tipo di modellizzazione, i tempo di accensione risultano valutabili secondo una distribuzione di tipo esponenziale, di parametro $\frac{1}{\lambda}$, dove λ rappresenta il parametro di intensità per il processo, in particolare ci si può leggere il numero medio di accensioni per il dispositivo nel corso del periodo delle ventiquattro ore della simulazione. Andando ad osservare le caratteristiche di questo tipo di modellizzazione si possono ritrovare le tipiche ipotesi lavorative che i processi di Poisson richiedono. Le accensioni sono fra di loro indipendenti e si può almeno stimare il numero medio di accensioni durante il periodo giornaliero. Questa corrispondenza ci rassicura sulla reale possibilità dell’uso di questo modello per rappresentare le accensioni dei dispositivi.

Andiamo ora ad osservare gli effetti dell’ipotesi di distribuzione uniforme per modellizzare la durata delle singole accensioni. Concentrandosi su gli andamenti di utilizzo per vari elettrodomestici presenti in una generica unità, possiamo vedere come si abbia una durata variabile per i cicli di funzionamento. Per simulare questa variabilità si possono utilizzare diversi approcci.

Un primo metodo analizzato è stato valutare una durata media per le accensioni e successivamente sovrapporre una variabile di tipo gaussiano per modellare la variabilità sia positiva che negativa della durata.

Un secondo modello utilizzato è stato quello di considerare una durata minima e una massima, modellando il tempo di ON come una variabile uniforme di estensione sufficiente a coprire tutta la gamma di possibili valori di durata. Questo secondo approccio, anche se più semplice del primo presentato, ha manifestato una distribuzione delle durate confrontabile con quella osservata sui dati reali, e per questo è stato adottato come il modello nelle simulazioni.

Un ruolo cruciale per questo aspetto della descrizione matematica è la corretta interpretazione dei valori di potenza minima e massima per i singoli dispositivi da simulare; una stima errata di questi parametri porta inevitabilmente ad una simulazione non aderente alla realtà dei comportamenti che si intende simulare.

5.2 Modifica dell'algoritmo di simulazione di Poisson mediante funzione peso

Come accennato nel precedente paragrafo, una modellizzazione delle appliances mediante il modello di un processo di Poisson porta ad una stima verosimile per quanto riguarda il numero medio di accensioni giornaliere e la loro durata.

Anche se dal punto di vista del mero controllo dei flussi di potenza questi aspetti sono fondamentali, un ulteriore parametro che riveste un notevole interesse nell'ottica di altri possibili ambiti di simulazione è una corretta distribuzione degli utilizzi nell'arco temporale della giornata. Il modello di Poisson precedentemente presentato non consente un diretto controllo sulla disposizione delle accensioni, essendo solo funzione del numero medio di eventi "accensione". Tuttavia osservando come le probabilità dei tempi di accensioni successive siano modellate mediante la distribuzione esponenziale

$$N = e^{-\frac{1}{\lambda}}$$

si vede come questa possa essere pesata mediante l'uso di una opportuna funzione che ne moltiplica il coefficiente all'esponente:

$$N = e^{-\frac{1}{\lambda} f_p(x)}$$

dove il termine $f_p(x)$ indica una funzione che copre l'arco della giornata ed assume valori di peso variabili.

Per stabilire le caratteristiche che la funzione f_p deve presentare è necessario svolgere alcune osservazioni riguardo gli andamenti osservati in ambito dell'utilizzo reale dell'elettrodomestico che si intende simulare. Prendiamo ad esempio l'uso di un lettore CD, questo viene acceso manualmente dall'utente, e allo stesso modo viene generalmente spento. Risulta improbabile inoltre che venga acceso mentre l'utente è fuori casa o quando sta svolgendo altre attività di intrattenimento (come ad esempio guardare la televisione). Inoltre un utilizzo nelle fasce orarie notturne è allo stesso modo improbabile, seppur non impossibile (basti pensare ad una piccola festa organizzata da un gruppo di amici). Sulla base di queste osservazioni, si può dedurre come le fasce principali all'interno

delle quali l'utilizzo del lettore CD è maggiormente probabile risultino quelle di mattina e pomeriggio/sera, grossomodo quelle che vanno dalle 9:00 di mattina alle 12:00 circa, e nel pomeriggio dalle 14:00 alle 20:00. Questa osservazione non è frutto di un'analisi qualitativa su dati raccolti da un campione statisticamente significativo di unità osservate, ma è stata estrapolata a partire da alcuni campioni di misurazioni disponibili utilizzando considerazioni dettate dal buon senso.

Proprio questo è uno dei principali problemi affrontati durante il lavoro di tesi, la carenza di informazioni a livello nazionale sufficientemente aggiornate da consentire di estrapolare, per mezzo di un'analisi metodica e rigorosa, i dati di utilizzo per i vari dispositivi da simulare.

E' utili inoltre precisare che la funzione peso va ad agire direttamente sui due importanti parametri del profilo generato: la distribuzione temporale e i valori medi locali che le potenze assumono. In realtà, i pesi variabili col tempo sono stati utilizzati proprio per ottenere il primo effetto, quello più diretto e immediato. Ma il secondo aspetto si è rivelato altrettanto importante durante le operazioni di tarature. L'utilizzo di pesi elevati, ad esempio, riduce le accensioni nel periodo in cui ha effetto, quindi modifica il profilo delle potenze dal punto di vista temporale. Un ridotto numero di accensioni comunque, si rispecchia in un minore valore medio della potenza stessa, e quindi modifiche sui pesi possono rendere necessarie modifiche anche ai valori di potenza per far combaciare i parametri simulati con i dati raccolti.

Una ulteriore possibilità per modulare in funzione del tempo la statistica del modello appena presentato è quella di utilizzare un vettore di pesi con la risoluzione temporale appropriata. Questo è stato il principale approccio utilizzato durante la fase di validazione, perché avendo a disposizione unicamente dei profili di aggregazione, mediati su un numero sconosciuto di osservazioni, le uniche informazioni che si possono estrapolare direttamente per realizzare una taratura dei pesi sono quelle direttamente osservabili sulle rappresentazioni.

La procedura di taratura dei pesi è stata condotta seguendo un procedimento di tipo "trial and error", basato quindi sulla ricerca per via manuale del vettore di pesi che fornisce la miglior corrispondenza possibile con gli andamenti raccolti dal progetto MICENE, per dati parametri di risoluzione nel tempo e nella potenza.

E' bene ricordare che i profili presi come modello, sono caratterizzata da una risoluzione temporale di 10 minuti, in contrapposizione con quella richiesta al nostro simulatore, che è di solo 1 minuto. Non volendo introdurre ulteriori effetti di media, si è deciso di abbassare, durante la successiva fase di validazione, la risoluzione temporale e di portarla a coincidere con i 10 minuti dei dati sperimentali in nostro possesso.

Andando ad osservare più nel dettaglio gli effetti di un approccio di questo tipo sulla simulazione si possono fare alcune considerazioni interessanti dal punto di vista della funzione peso. In primo luogo si può osservare come si riescano a riprodurre in maniera più che soddisfacente gli andamenti che si richiedono al flusso di potenza simulato, consentendo quindi di poter considerare ragionevolmente affidabili anche i risultati, dal punto di vista temporale, delle successive operazioni di aggregazioni. Questo aspetto è particolarmente utile qualora il simulatore fosse utilizzato per ottenere delle informazioni relative agli effetti dei carichi, osservandoli da una prospettiva tipicamente legata alla distribuzione.

Una seconda osservazione che è possibile svolgere dopo aver effettuato alcune tarature di appliances è legata all'effetto che i pesi attribuiti in questa maniera manifestano sugli andamenti simulati. Andando ad osservare il comportamento dell'algoritmo di simulazione, si può notare come il peso attribuito vada ad agire sulla probabilità di accensione andando principalmente a modificare il tempo medio di attesa prima dell'evento di ON successivo. Svolgendo le simulazioni si è notato come l'uso di pesi molto elevati si manifesti non solo nel periodo in cui i pesi sono presenti, ma anche nelle fasce orarie successive, proprio a causa dell'algoritmo utilizzato. Inoltre l'uso di pesi elevati può portare la simulazione a saltare dei periodi in cui invece si desidera una elevata probabilità nelle accensioni, questo appunto perché il periodo di attesa dell'accensione si protrae oltre questi intervalli di interesse. Inoltre il vettore dei pesi è strettamente legato al profilo che si desidera ottenere, rendendo di fatto abbastanza piccolo l'effetto delle variazioni statistiche sotto il profilo temporale.

Le stese considerazioni si applicano all'uso di una funzione peso, anziché all'applicazione di un vettore discreto di valori come appena presentato. Ne consegue che qualsiasi modifica nel profilo temporale da simulare, richiede che il vettore dei pesi venga alterato, anche in maniera considerevole.

Inoltre, avendo scelto di utilizzare i pesi distribuiti in maniera oraria, risulta questa la principale scala temporale che i risultati della simulazione manifestano. Questo comportamento tuttavia non altera in alcun modo le simulazioni svolte considerando cicli di utilizzo la cui durata non coincida con multipli di 60 minuti. Ciò ci porta ad affermare che il modello, pur con pesi basati su scadenze orarie, presenta comunque un buon tasso di libertà e di efficacia nelle simulazioni.

Per rendere questo legame meno stringente, si è pensato alla possibilità di utilizzare intervalli di peso su base dei 30 minuti, o anche meno, offrendo così una maggior libertà di taratura al modello. Questo può essere ottenuto con modifiche minime al modello progettato. Si è tuttavia preferito mantenere il passo orario per il vettore dei pesi, perché

si è deciso di non appesantire eccessivamente la fase di taratura, preferendo sacrificare leggermente la precisione in funzione della semplicità di configurazione e di adattamento.

Una ulteriore possibilità nell'uso del modello di Poisson per ottenere dei profili di potenza è quella di considerare contemporaneamente l'approccio poissoniano per distribuire le fasi di accensione, ma anziché utilizzare la semplice approssimazione di consumo costante nel corso dell'intera accensione, è possibile utilizzare profili precedentemente generati tramite ApEd. Questo approccio deve essere considerato sotto diversi punti di vista, prima di poter essere utilizzato all'interno di una simulazione reale. Si discuterà più avanti, nella sezione dedicata alla validazione, dei problemi legati alla verifica di questo tipo di modello, ma è comunque possibile introdurre qui alcuni dei concetti riguardanti questo argomento.

Si può notare come, utilizzando questo approccio, ogni fase di accensione risulta esattamente identica a quella disegnata mediante ApEd, rendendo di fatto nulla la possibilità di osservare comportamenti statistici anomali nella simulazione, almeno dal punto di vista delle ampiezze delle potenze. Per consentire di osservare variazioni durante la fase di ON, è possibile introdurre meccanismi di scalamento, sia sull'asse dei tempi che delle ampiezze, ottenendo in questo modo la variabilità cercata, ma senza ottenere una variazione nei profili generati paragonabile a quella che si ritrova col modello più semplice precedentemente illustrato.

5.3 Modellizzazione mediante Mappe caotiche

Le mappe caotiche sono un costrutto matematico particolarmente utile per modellizzare processi caotici in cui una traiettoria di evoluzione del processo (detta anche orbita) transita in zone associate allo stato di OFF del processo, e in altre zone associate allo stato ON.

Questi processi matematici sono descritti da una coppia di funzioni che forniscono l'evoluzione temporale dell'orbita nell'istante futuro a partire dal punto iniziale ed alcuni parametri che consentono di tarare il processo al fine di ottenere le caratteristiche statistiche volute.

$$F(x_n; d, m1, m2) = \begin{cases} F_1(x_n) = x_n + \frac{(1-d)}{d^{m1}} x_n^{m1} & 0 < x_n < d \\ F_2(x_n) = x_n - \frac{d}{(1-d)^{m2}} (1 - x_n)^{m2} & d < x_n < 1 \end{cases}$$

e $y_n = y(x_n) = \chi(\text{regione di ON})$.

dove:

- si utilizza F_1 se $0 < x_n < d$ e F_2 se $d < x_n < 1$;
- y_n vale 1 se x_n appartiene alla regione di ON, e 0 altrimenti.

Come si può vedere dalla descrizione sopra riportata, l'evoluzione della traiettoria dipende oltre che dallo stato attuale x_n , da altri tre parametri numerici: d , m_1 , m_2 . d rappresenta una soglia che consente di discriminare fra l'applicazione di F_1 o di F_2 per l'evoluzione dello stato, mentre m_1 e m_2 sono parametri per modellare la descrizione statistica degli esiti del processo.

L'evoluzione di un processo di tipo caotico è profondamente legata alle condizioni iniziali, infatti a partire da condizioni iniziali anche solo debolmente differenti, le evoluzioni delle traiettorie compiute dal sistema risultano pesantemente diverse. Volendo utilizzare un modello di tipo mappa caotica per descrivere il consumo di un generico elettrodomestico, è necessario procedere in maniera differente da quanto visto per l'utilizzo del modello di Poisson, infatti le mappe caotiche non sono adatte a generare gli eventi di accensione dell'apppliance, ma realizzano sequenze di stati. Osservando l'evoluzione temporale del processo, ad ogni istante si ottiene il punto dell'orbita nel quale il sistema si viene a trovare. Da questo valore si ricava lo stato binario associato mediante l'applicazione della funzione caratteristica (y_n) relativa all'appartenenza del punto attuale alla regione di ON, quindi uno stato 1 o 0. Concatenando fra loro i valori ottenuti in un intervallo di istanti successivi si costruisce una sequenza di valori binari. Andando infine ad associare un flusso costante, la somma di N termini-stato fornisce le informazioni sul flusso di potenza simulato. E' evidente che una mappa caotica non genera dei profili di flussi energetici costanti, tuttavia è possibile tararla in modo tale che il flusso medio sia pari a quello ipotizzato, e le fluttuazioni che si ottengono possano essere considerate simulazioni di possibili ripples nella potenza sul dispositivo simulato, in modo tale che la simulazione risulti più aderente alla realtà.

Questo modello simulativo tuttavia non consente di stabilire gli intervalli di ON e di OFF, infatti ad ogni iterazione si generano le nuove evoluzioni. Quindi l'approccio mediante mappe caotiche risulta particolarmente conveniente per generare in un solo passaggio l'andamento aggregato dell'intera unità rispetto alle singole simulazioni dei dispositivi presenti.

Un approccio ibrido sarebbe anche possibile, nel senso che si potrebbe utilizzare il modello di Poisson per stabilire gli istanti di accensione e le durate per i cicli di funzionamento. All'interno del ciclo il flusso delle potenze verrebbe generato mediante un modello di mappa caotica.

Dal punto di vista statistico, ciascuno degli esiti del processo è indipendente dagli esiti

precedenti, almeno in prima osservazione, tuttavia dato che l'evoluzione della traiettoria è dipendente dal punto attuale che la stessa assume, non si è in presenza di vera indipendenza statistica.

5.4 Aggregazione

Per ottenere il comportamento complessivo per la singola unità, è necessario provvedere a svolgere l'aggregazione fra tutti gli esiti delle simulazioni delle singole appliances che costituiscono il modello energetico dell'unità stessa. Questa operazione è svolta mediante lo script Aggregator, e altro non è se non una combinazione lineare, con pesi opportuni, dei singoli flussi energetici delle appliances.

La tecnica discussa porta ad ottenere dei risultati decisamente differenti in base all'approccio simulativo adottato per i singoli dispositivi. Se si è deciso di utilizzare una simulazione mediante il modello di Poisson per gli apparati, il comportamento generale che lega le appliances risulta indipendente, portando a fenomeni di indipendenza completa fra gli usi. In queste ipotesi lavorative, si possono osservare fenomeni di media dovuti a questa indipendenza, che può risultare tanto più "livellata", quanto maggiore risulta il numero di appliances interessate. Questo comportamento si presenta in maniera marcata anche nel successivo livello di aggregazione, quello fra unità. Se infatti l'obiettivo è quello di valutare le strategie e i modelli del controllo dei flussi in un'aggregazione di unità, fra queste si manifesta una probabile indipendenza fra gli usi, e quindi l'andamento generale delle energie in gioco è caratterizzato da medie e bilanciamenti.

Volendo invece generare il comportamento complessivo dell'unità mediante le mappe caotiche, sono disponibili diversi approcci differenti. Questi consentono di estrarre il comportamento complessivo a partire da una singola simulazione anziché generare i profili per le singole appliances e sommandoli successivamente. Il primo consiste nell'utilizzare una simulazione di tipo ibrido per generare i profili giornalieri, a cui far seguire la stessa fase di combinazione lineare per i normali risultati ottenuti dalla simulazione secondo Poisson. La seconda invece è la generazione diretta del profilo complessivo del consumo giornaliero (inteso già come somma di singoli contributi) mediante la stessa procedura precedentemente descritta per l'uso delle mappe caotiche. In questo caso il risultato della simulazione è direttamente utilizzabile per costruire il profilo simulato per l'unità, dato che l'andamento complessivo risulta per sua natura come la somma di varie componenti indipendenti (le singole appliances).

L'approccio utilizzato in questo caso prevede che per ciascuno step temporale della simulazione, si generino K stati della mappa caotica. Associando un flusso costante a

ciascuno stato 1 nella mappa, la somma può essere interpretata come il flusso di potenza complessiva nello step. Bisogna prestare attenzione però a tarare i parametri della mappa in modo tale che le caratteristiche statistiche del processo generato rispettino quelle reali, o almeno quelle che si ottengono per mezzo delle simulazioni con l'algoritmo che fa uso dei processi di Poisson.

Come già introdotto, le mappe caotiche dipendono da quattro parametri differenti, di cui due costituiscono fattori di forma per la descrizione statistica (m_1 ed m_2), mentre due consentono di agire direttamente sul processo di evoluzione della mappa stessa. I due parametri che si sono utilizzati per le operazioni di taratura sono d e x_n .

Il procedimento seguito è in qualche modo analogo a quello intrapreso per la taratura delle simulazioni col modello di Poisson, ma in questo caso il controllo non è diretto. Al fine di ottenere una simulazione per il flusso nell'arco della giornata mediante mappa caotica si sono generati due vettori distinti, uno costituito dai valori che assume d , e uno relativo ad una sequenza di stati iniziali. Ad ogni step temporale della simulazione, si è proceduto come segue:

- si fissa il passo temporale corrente da simulare;
- si richiama lo script che genera la mappa caotica, passandogli come parametri il valore di x_n e d per il passo corrente, e anche il numero di sottopassi da utilizzare (questo numero è fissato pur tutti gli step);
- si ispeziona il vettore di valori binari che la mappa caotica ha generato e si fa la somma, ottenendo di fatto il vapore di flusso simulato nello step;
- si inserisce il valore simulato nel vettore dei risultati della simulazione e si procede al passo successivo.

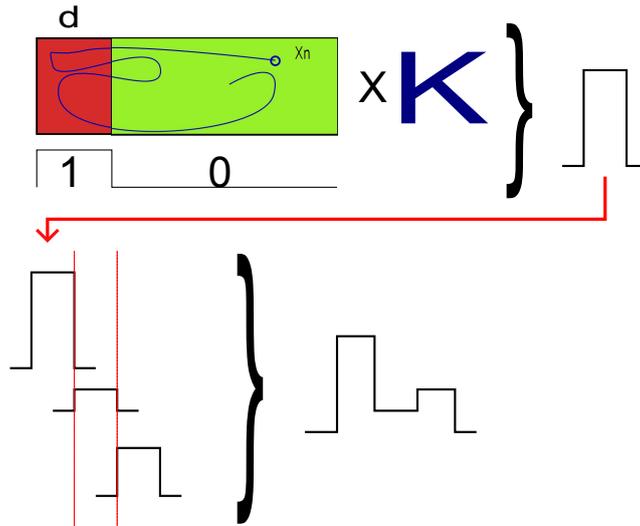


Figure 5.4.1: *Sviluppo del processo di aggregazione mediante mappa caotica.*

Andiamo ora a discutere più nel dettaglio il procedimento. Per svolgere questo tipo di simulazioni si è considerato che ciascuna mappa caotica fosse caratterizzata da uguali fattori di forma, in particolare si sono imposti i valori di m_1 ed m_2 pari entrambi a 1.5. In questo modo si è sostanzialmente definita la struttura della simulazione. Andando ad osservare il comportamento dei risultati di una mappa caotica, con uguali valori per tutti e quattro i parametri, si può osservare come tali risultati siano sempre identici, cioè fissati i quattro parametri, l'orbita percorsa dalla mappa caotica è completamente definita e costante. Alla luce di questa osservazione, si è pensato di valutare l'effetto dei parametri d e x_n sulla traiettoria.

Osservando le funzioni che definiscono il comportamento della mappa, si può notare come in realtà il parametro d sia legato alla misura della regione considerata di ON, rispetto al totale. Si può quindi considerare questo parametro come l'equivalente per le mappe caotiche dell'intensità per gli altri processi aleatori. In realtà questo non è del tutto vero, infatti pur con variazioni monotone del vapore assegnato a d , non sempre si rilevano variazioni nello stesso verso del numero di "successi" ottenuti dalla mappa. Si è comunque considerato questo aspetto come secondario, date le piccole differenze rilevate, e si è quindi utilizzato il vettore $d(t)$ allo stesso modo del vettore peso per le simulazioni svolte col modello di Poisson: per valori piccoli del parametro d , si fa aumentare l'estensione della regione associata ai successi, e quindi di osserva un aumento nel flusso di potenza simulato.

Osserviamo ora l'effetto che ha il parametro x_n ha sull'evoluzione della mappa. Si è già

5 Algoritmi di Simulazione

accennato che per loro costruzione, le mappe caotiche presentano delle orbite fortemente differenti anche solo in presenza di minime variazioni nello stato iniziale. Su questa considerazione si è proceduto a verificare l'effettiva validità di questo approccio, e a parità degli altri tre parametri, si è verificato che le traiettorie seguite dalle mappe caotiche variavano considerevolmente in funzione dei vari x_n provati.

La necessità di far variare anche questo parametro è dettata da osservazioni che si sono svolte durante le prime simulazioni testate. Se si mantiene questo parametro fisso, ogni qualvolta si associa a d un determinato valore si ottiene la stessa orbita per la mappa che viene simulata. Poiché nel corso della giornata è assai probabile che che la vettore dei pesi d vengano associati più volte gli stessi valori, in questi casi si otterrà sempre e comunque lo stesso valore per il flusso simulato. Chiaramente un modello di questo tipo deve presentare un minimo di variabilità, così da realizzare delle simulazione di maggior interesse per la funzione di supporto ai progettisti o a coloro che utilizzino questo software, quindi per introdurre questo aspetto, si è pensato di utilizzare un vettore realizzato da una sequenza di valori casuali che costituiscono per ogni passo della simulazione il punto iniziale da cui iniziare a sviluppare la mappa. Si è riusciti in questo modo a raggiungere un comportamento soddisfacente dal punto di vista statistico.

6 Appliances

In questo capitolo si riportano le descrizioni utilizzate per le varie appliances utilizzate nella simulazione. Per ciascun dispositivo si presenteranno inoltre le considerazioni svolte in fase di progettazione del modello simulativo.

L'importanza di un modello corretto per ciascun elettrodomestico è fondamentale per garantire una corretta modellizzazione dei flussi nella singola unità, come pure nel comportamento aggregato fra varie unità distinte ma collegate con la medesima rete di distribuzione/condivisione.

In precedenza si è discussa la necessità di individuare alcuni parametri fondamentali per descrivere il comportamento e l'uso da parte degli utenti dei vari dispositivi in termini di numero giornaliero di utilizzi, potenza consumata o erogata e consumo in condizione di stand-by. Volendo procedere con una realizzazione pratica di una simulazione, però, un passo fondamentale deve precedere quello della definizione delle appliances, e cioè è necessario stabilire quali dispositivi fanno parte della categoria di unità che si vuole andare a simulare.

E' evidente che un'abitazione conterrà fonti di illuminazione, come pure elettrodomestici di uso comune quali lavatrici, frigoriferi e lavastoviglie. Anche in un ufficio troviamo sicuramente fonti di illuminazione, ma non elettrodomestici per il lavaggio o per cucinare, ma invece ci saranno un numero maggiore di computer, delle fotocopiatrici e magari un fileserver per lo storage locale dei dati, accesso ventiquattro ore su ventiquattro. Se invece consideriamo un piccolo laboratorio artigiano, o una piccola officina, non possono mancare notevoli carichi, spesso di natura induttiva, quali torni, frese e altri utensili indispensabili per le varie lavorazioni che costituiscono le attività svolte.

Come si vede, le appliances che è necessario simulare appartengono a categorie anche molto dissimili fra loro, e spesso impiegate in una categoria specifica delle attività umane interessate al loro utilizzo. Questa diversità intrinseca rende difficile individuare un set di caratteristiche descrittive comuni a tutti i dispositivi, senza che per alcuni di essi parte delle informazioni risultino di scarso interesse, ad esempio se può avere un senso parlare di fattore di potenza per un tornio industriale, questa informazione non è affatto utile a descrivere dal punto di vista simulativo il comportamento di un asciugacapelli.

6 Appliances

L'approccio tenuto durante la descrizione delle appliance, come per il resto della simulazione, è stato quello di ridurre al minimo la complessità dei dati individuati, lasciando il lavoro di affinamento ad una fase successiva.

Gli elementi descrittivi individuati sono stati:

- durata minima e massima del ciclo di utilizzo;
- potenza minima e massima utilizzata;
- potenza media utilizzata durante il ciclo di accensione;
- passo minimo nelle variazioni della potenza;
- potenza consumata durante la fase di stand-by.

Come ipotesi preliminare si è imposto inoltre un valore fisso per la risoluzione temporale pari ad un minuto. Non tutti i parametri riportati in queste schede trovano un corrispettivo nel modello utilizzato durante la fase di validazione. Infatti non tutti i parametri riportati sono necessari per un dato modello. Si riportano qui solo i dati validati, lasciando non compilati i campi non utilizzati.

DISPOSITIVO: Lettore CD

NUMERO DI UTILIZZI GIORNALIERI: 2-3

DURATA MINIMA DEL CICLO DI UTILIZZO:

DURATA MASSIMA DEL CICLO DI UTILIZZO:

POTENZA MINIMA UTILIZZATA:

POTENZA MASSIMA UTILIZZATA:

POTENZA MEDIA UTILIZZATA:

POTENZAUTILIZZATA IN STAND-BY:

PERIODI DI MAGGIOR UTILIZZO:

CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO: Il lettore CD viene prevalentemente utilizzato per attività di svago, quindi il suo utilizzo è concentrato nei momenti in cui è maggiormente probabile la presenza di persone nell'unità in corso di simulazione. Anche se questo tipo di dispositivo non è strettamente legato ad un uso residenziale, un suo utilizzo in ambito lavorativo non è frequente, a meno che non si tratti di un esercizio commerciale, il quale lo utilizza prevalentemente come intrattenimento per la clientela. Quando viene utilizzato all'interno di una abitazione, i periodi di maggior utilizzo coincidono con la mattina ed il pomeriggio, diradandosi in corrispondenza delle ore di pranzo e cena, in quanto generalmente si preferisce utilizzare un televisore durante i pasti, potendo approfittare dei telegiornali. Anche l'utilizzo in ore serali è scarsamente probabile, si preferisce guardare un film o altri programmi televisivi. Quando viene utilizzato all'interno di un negozio, invece, risulta spesso utilizzato per tutta la durata del periodo di apertura dello stesso, in maniera ininterrotta.

CONSIDERAZIONI SUL CONSUMO: Il lettore CD (inteso come sistema audio, quindi comprensivo di amplificatore e casse acustiche), presenta un consumo di potenza generalmente costante durante il suo utilizzo. La principale fonte di consumo energetico è sezione di amplificazione del segnale e a meno di variazioni del volume tende a restare circa costante. Di conseguenza il consumo complessivo del dispositivo può essere pensato in buona approssimazione costante, a meno di una certa componente aleatoria sovrapposta, che consente di tener conto delle fluttuazioni. Tuttavia questa componente è di scarsa entità rispetto al consumo medio in condizioni di utilizzo normale ed è stata trascurata in fase di simulazione.

MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE: Modello con distribuzione poissoniana delle accensioni, modulato mediante una opportuna funzione di peso per regolare le distribuzioni durante le fasi interessate dall'utilizzo. Per modellizzare il componente nel caso di un esercizio commerciale, si è utilizzato un modello caratterizzato da un consumo medio pari alla potenza media in fase di utilizzo e si è modulata l'accensione

6 Appliances

durante le fasi di attività del negozio.

6 Appliances

DISPOSITIVO: Apparecchio per il freddo (Pagina 15 di [7])

NUMERO DI UTILIZZI GIORNALIERI: Ciclo di funzionamento periodico ed equidistribuito nel corso delle vetiquattro ore, con cadenza di circa mezzora;

DURATA MINIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 10 minuti;

DURATA MASSIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 15 minuti;

POTENZA MINIMA UTILIZZATA:

POTENZA MASSIMA UTILIZZATA:

POTENZA MEDIA UTILIZZATA: 120 Watt;

POTENZAUTILIZZATA IN STAND-BY:

PERIODI DI MAGGIOR UTILIZZO: Utilizzo equidistribuito nell'arco della giornata;

CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO: Il comportamento energetico di un frigocongelatore è caratterizzato da accensioni di durata breve e quasi costante, equidistribuite nel corso della giornata. Questo comportamento è dato dall'effetto del controllo termostatico interno all'elettrodomestico, che induce le accensioni per il mantenimento della temperatura impostata dall'utente, ne consegue quindi che l'utilizzo da parte dell'utente è una componente importante nel consumo di questi apparecchi, come ad esempio la temperatura impostata o il grado di riempimento con cui viene utilizzato. In base ad alcuni studi svolti [7], risulta un leggero incremento nella frequenza dei cicli di utilizzo in corrispondenza con i periodi di pranzo e cena, che potrebbe essere collegato alle aperture e chiusure maggiormente frequenti. Nelle simulazioni svolte, questa ultima caratteristica è trascurata dato lo scarso peso che questo comportamento presenta sulla distribuzione delle fasi di ON.

CONSIDERAZIONI SUL CONSUMO: Dal punto di vista della potenza consumata da questa categoria di elettrodomestici, il consumo è grossomodo costante nei singoli periodi di accensione. Una comoda ipotesi per valutare il consumo giornaliero è considerata quella di un consumo costante durante tutto l'arco della giornata, indipendentemente dalla presenza di occupanti dell'unità. Dal punto di vista della simulazione però, questa ipotesi non consente di valutare l'efficacia di sistemi di controllo dei flussi di potenza, e quindi si è preferito simulare i singoli periodi di accensione.

MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE: Modello poissoniano per simulare le accensioni del dispositivo, con parametro lambda pari a 48, cioè il numero medio di accensioni durante il periodo giornaliero. La durata delle singole accensioni è stata modellata con il modello uniforme fra i valori di durata minima e massima precedentemente individuati

6 Appliances

DISPOSITIVO: Televisore (Pagina 35 di [7])

NUMERO DI UTILIZZI GIORNALIERI: 3-4

DURATA MINIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 30 minuti;

DURATA MASSIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 180 minuti;

POTENZA MINIMA UTILIZZATA:

POTENZA MASSIMA UTILIZZATA:

POTENZA MEDIA UTILIZZATA: 80 Watt;

POTENZAUTILIZZATA IN STAND-BY:

PERIODI DI MAGGIOR UTILIZZO: Si possono individuare tre picchi di utilizzo principali, in corrispondenza con gli orari di colazione (7:00-10:00), pranzo (12:00-16:00) e cena (19:00-23:00);

CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO: Osservando le immagini del profilo riportato nel riferimento sopra citato, si vede chiaramente come vi sia una pesantissima dipendenza temporale fra le accensioni di questo tipo di dispositivo e le attività umane. Per sua natura, un televisore si presta ad essere utilizzato durante i momenti "liberi" degli occupanti dell'appartamento, e quindi risultano logici i picchi nei consumi concentrati in prossimità dei periodi in cui la presenza in casa risulta maggiore. Sarebbe inoltre interessante valutare il profilo di carico all'interno degli esercizi commerciali, anche se è lecito aspettarsi in questo tipo di utilizzi un consumo pressoché costante nel corso delle ore lavorative, e nullo (al più il consumo in stand-by) al di fuori di questo periodo.

CONSIDERAZIONI SUL CONSUMO: Come già discusso, il profilo del consumo segue in maniera molto prossima le fasce orarie di maggior probabilità di presenza di persone nelle abitazioni. Dal punto di vista della potenza media si può notare come vi sia una notevole differenza fra la potenza media rappresentata e il valore massimo rilevato. Questa caratteristica può essere direttamente collegata con il comportamento energetico tipico di questo tipo di dispositivo, cioè si hanno delle fasce in cui il televisore risulta acceso e consuma praticamente la massima potenza, mentre per lunghi altri periodi risulta spento o in condizioni di stand-by.

MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE: La simulazione per le appliances della categoria dei televisori è stata svolta utilizzando il modello di Poisson, con consumo costante durante la fase di accensione, e durate delle fasi di ON distribuite in modo uniforme fra il valore minimo e quello massimo.

6 Appliances

DISPOSITIVO: Personal Computer (Pagina 35 di [7])

NUMERO DI UTILIZZI GIORNALIERI: 2

DURATA MINIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 30 minuti;

DURATA MASSIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 600 minuti;

POTENZA MINIMA UTILIZZATA:

POTENZA MASSIMA UTILIZZATA:

POTENZA MEDIA UTILIZZATA: 250 Watt;

POTENZAUTILIZZATA IN STAND-BY:

PERIODI DI MAGGIOR UTILIZZO: Osservando il profilo ottenuto dallo studio MICENE, si vede come il periodo di maggior utilizzo sia concentrato nelle fasce orarie serali. Questo comportamento è perfettamente in linea con le attese. Se infatti si considera che la campagna di misurazione è stata basata sull'osservazione di abitazioni, è evidente che sono stati esclusi la maggior parte gli usi del PC legati alle attività di lavoro. Quindi gli utilizzi misurati sono stati svolti da studenti, al di fuori dell'orario di lezione delle scuole, o da persone che utilizzavano il computer al loro ritorno dal lavoro. Questa interpretazione chiarisce la motivazione della concentrazione serale della richiesta di potenza da parte di questa classe di apparecchi.

CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO: Dal punto di vista del consumo di potenza, è necessario considerare che gli utilizzi dei personal computer sono molto vari, e questo comporta certamente la necessità di semplificare l'approccio della simulazione.

CONSIDERAZIONI SUL CONSUMO: Considerare unicamente le variazioni temporali, porta ad sottostimare gli effetti che le modalità di uso introducono a livello di potenza richiesta. Evidentemente, l'uso di un computer per scrivere un documento, o leggere le email necessita una potenza di calcolo inferiore rispetto alla navigazione su siti con un elevato contenuto di tipo multimediale. Sotto il punto di vista del consumo, l'attività che è associata con le massime potenze richieste è certamente quella ludica, l'uso estensivo e prolungato della scheda video infatti è sicuramente la condizione più onerosa da questo punto di vista. Nel corso delle simulazioni, si è deciso di considerare tutta quella fascia di utenti che utilizzano il computer in maniera estensiva al di fuori dell'orario di lavoro, ricalcando in questo modo il campione osservato dal progetto MICENE. Questa è la principale ragione alla scelta di utilizzare un periodo massimo di utilizzo pari a 10 ore.

MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE: come per altri elettrodomestici, anche per la modellazione del personal computer si è utilizzato il modello di Poisson per le accensioni, con durata uniforme fra il massimo e il minimo presentato.

6 Appliances

DISPOSITIVO: Videoregistratore (Pagina 35 di [7])

NUMERO DI UTILIZZI GIORNALIERI: 1

DURATA MINIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 30 minuti;

DURATA MASSIMA DEL CICLO DI UTILIZZO: 180 minuti;

POTENZA MINIMA UTILIZZATA:

POTENZA MASSIMA UTILIZZATA:

POTENZA MEDIA UTILIZZATA: 260 Watt;

POTENZAUTILIZZATA IN STAND-BY:

PERIODI DI MAGGIOR UTILIZZO: Come si osserva dal profilo risultato dalla campagna di raccolta dati MICENE, l'andamento del consumo nell'arco della giornata è praticamente costante. Questo comportamento è sicuramente legato all'utilizzo dell'elettrodomestico, caratterizzato prevalentemente dalla programmazione delle accensioni, e quindi non direttamente collegato con la presenza o meno di persone nell'abitazione.

CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO: Il consumo nelle varie fasce giornaliere è grosso-modo costante, indipendentemente dall'ora in cui lo si va ad osservare. Come accennato, questo comportamento è perfettamente in linea con le considerazioni che si possono fare sulle modalità di utilizzo. Questi dispositivi sono prevalentemente utilizzati per registrare trasmissioni televisive mentre il proprietario svolge altri compiti o segue altri programmi. E' quindi logico attendersi che questo tipo di usi sia legato alla programmazione del dispositivo, e quindi non necessiti di essere acceso manualmente.

CONSIDERAZIONI SUL CONSUMO: Dal punto di vista dell'andamento del flusso di potenza, si può considerare praticamente costante nel corso della giornata. Volendo osservare bene, comunque, si possono trovare degli incrementi dei consumi associati a questo tipo di appliances nel corso delle ore in cui risulta maggiore la probabilità che vi siano persone in casa, ad esempio ad ora di pranzo o di cena. Questo è direttamente collegabile con l'uso del videoregistratore non mirato alla registrazione, attività comunque molto presente in questi periodi, ma come dispositivo di intrattenimento per la riproduzione di film. Il fatto che il flusso presenti dei picchi non molto pronunciati in ampiezza è legato al fatto che in media, l'attività di registrazione risulta quella prevalente, anche durante questi periodi di utilizzo.

MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE: Il modello utilizzato per le accensioni è stato quello di Poisson, e si è considerata una distribuzione uniforme per le durate delle singole accensioni.

7 Validazione

La fase di validazione è stata senza dubbio quella che ha richiesto la maggior quantità di risorse, sia in termini di tempo che di ricerca dei dati. Un lavoro come quello presentato, cioè una simulazione del comportamento di un'attività così strettamente legata con il comportamento umano, necessita di un'attenta valutazione della bontà dei risultati prodotti. Questa però non è un'operazione semplice, infatti ciascun individuo interpreta le proprie esigenze, in questo caso di tipo energetico, in modo personale e caratteristico, così che un semplice confronto diretto con misure svolte sul campo risulta poco indicato per questo tipo di verifica. Come fattore aggiuntivo, si è trovata una notevole carenza di dati disponibili dal punto di vista dell'utilizzo da parte degli utenti dei singoli elettrodomestici. I dati a cui si è pensato in un primo momento di far riferimento sono stati quelli di tipo numerico, come tabelle rappresentanti i consumi da parte dei singoli dispositivi osservati in unità prese come modello. In realtà questo tipo di valori non sono direttamente disponibili.

Sono reperibili i risultati di numerosi studi svolti sia da gestori del sistema elettrico, sia da istituti di ricerca. Questi dati si riferiscono a rilevazioni sperimentali e sono quindi rappresentativi della situazione reale. Tuttavia, essi sono in genere presentati ricorrendo ad aggregazioni che, se pur significative, non consentono una lettura diretta dei dati numerici e matematici raccolti, rendendo complicato un confronto fra questi valori reali e gli esiti delle simulazioni in quanto manca una corrispondenza diretta. Questa mancata corrispondenza, ha portato ad una complicazione nelle operazioni mirate alla validazione del modello da noi proposto.

Nel documento riassuntivo del progetto MICENE [7], ad esempio, sono presentati i risultati di una campagna di misura promossa dalla comunità europea nel 2004 e mirata alla pianificazione e allo studio di misure atte a ridurre i consumi a livello nazionale per il nostro paese. Il primo compito svolto dai ricercatori è stato monitorare un totale di 110 abitazioni variamente suddivise in singoli edifici o appartamenti, ed eterogenee dal punto di vista del numero di persone e dell'età degli occupanti. I dati raccolti però riguardavano solo alcuni esempi di appliances, quali TV, videoregistratori e lavabiancheria, e non la totalità dei possibili dispositivi che si incontrano nelle abitazioni. Questi dati sono poi

stati mediati fra le abitazioni in cui le singole appliances erano presenti e quindi sono stati forniti solo questi valori finali come risultato del lavoro.

Come si può intuire, confrontare dati di questo tipo con i risultati di una simulazione come quella svolta nel corso del lavoro di tesi non è affatto un procedimento lineare. Per poter procedere con questo tipo di validazione si è proceduto per vari passi.

La prima e cruciale operazione svolta è stata quella di individuare un possibile modo per svolgere dei confronti fra i dati rilevati e quelli simulati. In sostanza si è cercato di individuare delle features nei dati rilevati che potessero essere confrontati con elementi analoghi estrapolati dai valori simulati.

Osservando a titolo di esempio l'andamento mostrato in figura 7.0.1 si possono individuare alcune caratteristiche utili per un possibile confronto: sono stati evidenziati il valore medio del consumo su base giornaliera (in watt), inoltre sono disponibili i consumi medi rilevati con un passo temporale della durata di 10 minuti.

Quindi i primi termini di confronto che si possono leggere da questo tipo di rappresentazione sono:

- Valore medio su base giornaliera;
- Valore massimo presente;
- Valore minimo presente.

Andando ora ad osservare i dati che possono essere estrapolati dagli esiti delle simulazioni, si vede che ripetendo passo passo le operazioni svolte dai ricercatori del progetto MICENE sui risultati dell'approccio matematico da noi tenuto, si possono ottenere e calcolare analoghi indici, utili per il confronto e quindi una validazione dei modelli.

Utilizziamo la categoria dei frigo-congelatori come primo modello per la validazione. Grazie alla loro semplicità, sia nella descrizione del comportamento che nel modello simulativo, sarebbe risultato semplice individuare discrepanze fra le due categorie di dati.

Per questa operazione si è prima proceduto con la generazione di un numero idoneo di simulazioni. Il numero di simulazioni svolte per ciascun apparato al fine della sua validazione si è rivelato più elevato di quello utilizzato dai ricercatori di [7] nel corso dei monitoraggi sul campo, nel caso delle nostre simulazioni 1000. Questo valore è stato utilizzato nelle fasi della validazione, infatti si è osservato che un numero inferiore di simulazioni ha portato ad ottenere un andamento molto meno nitido, costituito da diversi spike che hanno reso il confronto visivo fra gli andamenti difficoltoso. Incrementando la quantità dei dati simulati, i fenomeni di media che si manifestano in questo tipo di

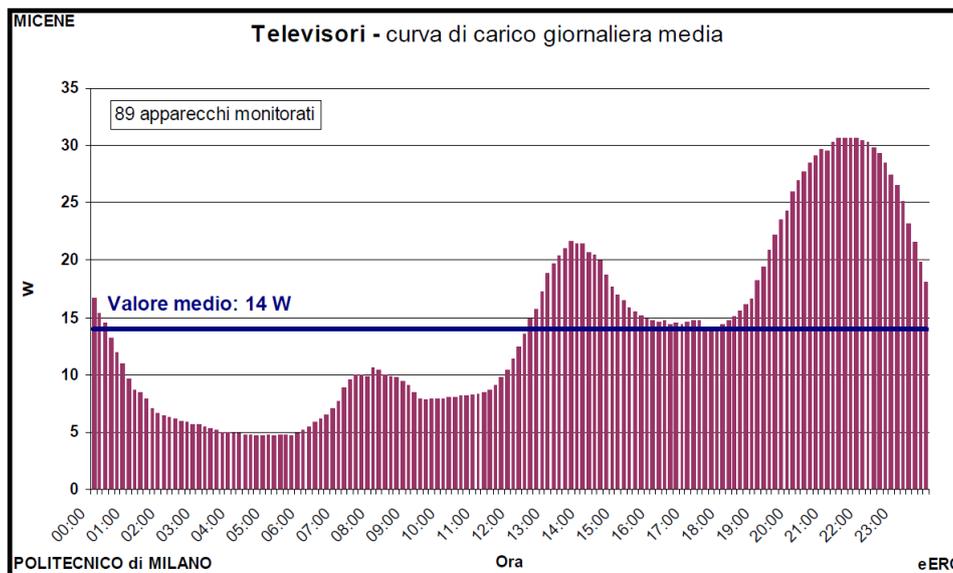


Figure 7.0.1: *Andamento del profilo di consumo per un televisore, estratto dal progetto MICENE*

aggregazioni portano ad un filtraggio che rende gli andamenti più facilmente confrontabili, senza alterare l'andamento generale dei profili simulati, quindi senza interferire con la validazione stessa. La necessità di svolgere questa operazione è da ricercarsi all'interno delle caratteristiche peculiari dei modelli di simulazione utilizzati all'interno di questo lavoro, infatti si è considerata l'approssimazione di consumi costanti durante la fasi di accensione, ipotesi chiaramente semplificata rispetto al reale comportamento energetico che i dispositivi presentano nel corso del normale utilizzo, che porta ad avere un maggior numero di spike localizzati in corrispondenza delle sovrapposizioni fra le singole sintesi. Incrementando il numero delle simulazioni, esattamente come accade incrementando il numero dei dispositivi all'interno di un'aggregazione reale, si assiste ad un fenomeno di media che contribuisce a ridurre le componenti impulsive che si manifestano se si va a considera solo un numero ridotto di simulazioni o di osservazioni.

Un approccio maggiormente aderente alla realtà, come già discusso in precedenza nel corso della tesi, sarebbe possibile utilizzando l'editor di profili di flusso per disegnare gli andamenti nelle fasi di accensione, tali da rispecchiare più fedelmente quelli reali delle appliances simulate. Tuttavia anche in questo caso ci si è dovuti scontrare con una oggettiva carenza di dati riguardo a tali andamenti.

Nonostante questa semplificazione, con un numero adeguato di simulazioni ripetute, il modello utilizzato ha rispettato tanto i valori medi quanto gli andamenti nel tempo su

7 Validazione

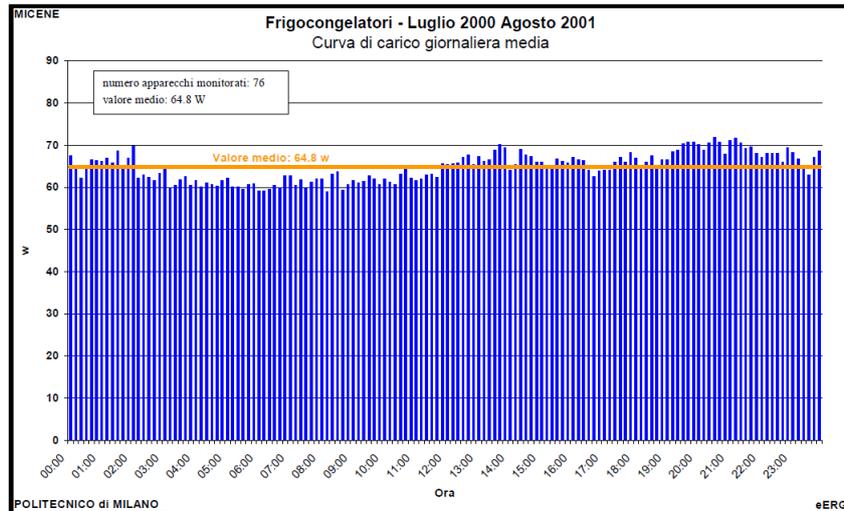


Figure 7.0.2: *Andamento del profilo di consumo per un frigocongelatore, estratto dal progetto MICENE*

base giornaliera.

Un buon comportamento è osservabile in maniera netta anche prendendo in considerazione i risultati della validazione dei televisori. Questi elettrodomestici presentano alcune caratteristiche comuni a molti altri dispositivi che si incontrano comunemente sia nelle abitazioni che negli esercizi commerciali, cioè sono strettamente legati all'intervento umano per la loro accensione. Tale collegamento fa sì che si possano individuare, nel diagramma relativo ai dati raccolti sul campo dai ricercatori [7], delle fasce orarie in cui l'utilizzo risulta molto più probabile rispetto al resto della giornata (si veda Figura 7.0.1).

Come già presentato precedentemente, l'approccio per la validazione di questo tipo di dispositivi è stato svolto ripetendo la simulazione e svolgendo le stesse operazioni di media che i ricercatori hanno attuato nel corso della raccolta dei dati sul campo. Dovendo tenere conto di questa distribuzione non uniforme delle accensioni nell'arco della giornata si è utilizzato il modello di Poisson per la descrizione delle probabilità di accensione, e si è fatto ricorso alla funzione pesata già descritta nel Capitolo 5.2.

Anche in queste condizioni operative il modello prodotto, pur presentando le piccole incongruenze sopra citate, si è comportato in maniera corretta, consentendo di tarare opportunamente i pesi differenziati per fasce orarie al fine di rispecchiare gli andamenti reali. Andando più nel dettaglio, si può osservare come gli andamenti rilevati e simulati siano molto simili, ad eccezione delle prime ore della giornata (da 0:00 a 7:00 circa). Ragionando però sul comportamento degli utenti, questa non-uniformità è facilmente interpretabile. Supponendo che una persona stia utilizzando il televisione alle ore 23:00,

7 Validazione

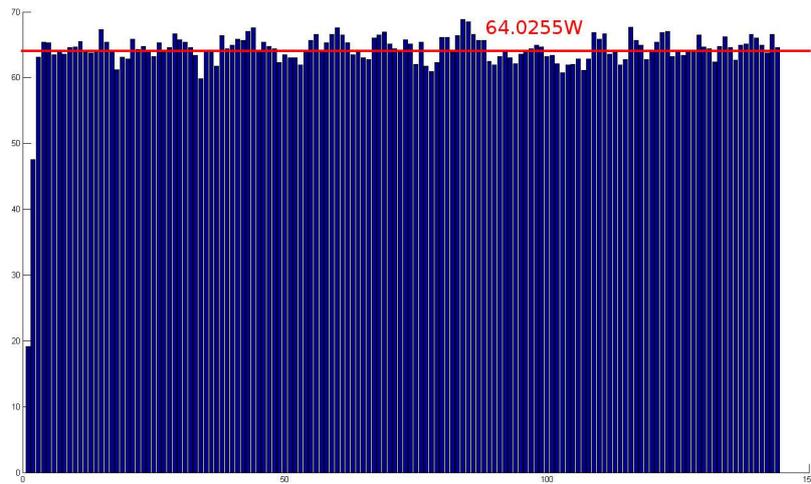


Figure 7.0.3: *Andamento simulato di un frigocongelatore, secondo il modello di Poisson*

è probabile che prosegua nell'uso fino alla fine del programma televisivo che sta seguendo. Il modello presentato non è ciclico, nel senso che al termine del ciclo giornaliero delle 24 ore, i dati non vengono inseriti nel nuovo giorno, e quindi non si tengono in considerazione gli utilizzi che si protraggono fino alle prime ore della giornata successiva, come invece avviene per le misure sul campo. Questa discrepanza è anche peggiorata dal fatto che nelle prime ore del giorno la maggioranza delle persone non accende la televisione, a meno che questa non sia già accesa dalla sera precedente, e questo ha portato a modellare con una bassa probabilità l'accensione in queste fasce orarie. Osservando l'andamento misurato, si può notare come il raccordo fra le ore 0:00 e 24:00 sia molto soffice, indice di una progressiva diminuzione nell'utilizzo.

Per correggere questo comportamento del simulatore, si è ritenuto opportuno svolgere la simulazione su un periodo temporale di tre giorni, e considerare il giorno centrale come il reale risultato della simulazione. Ciò ha portato ad un netto miglioramento nella verosimiglianza dei flussi di potenze misurati e calcolati.

7 Validazione

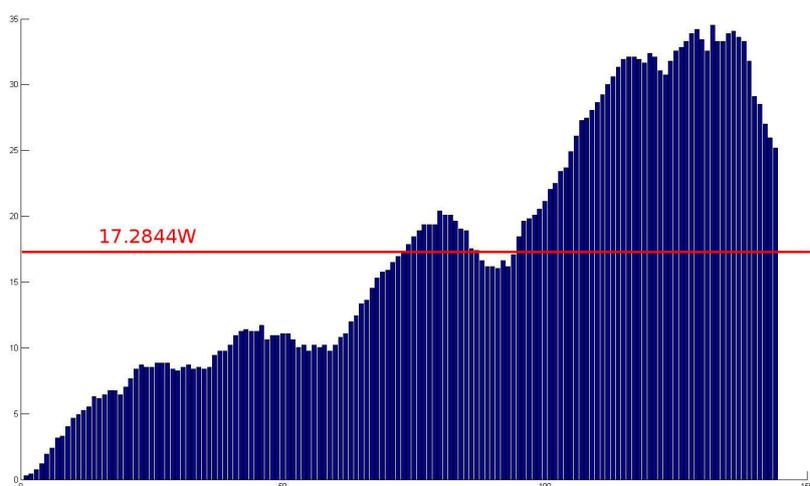


Figure 7.0.4: *Andamento simulato di un televisore, secondo il modello di Poisson*

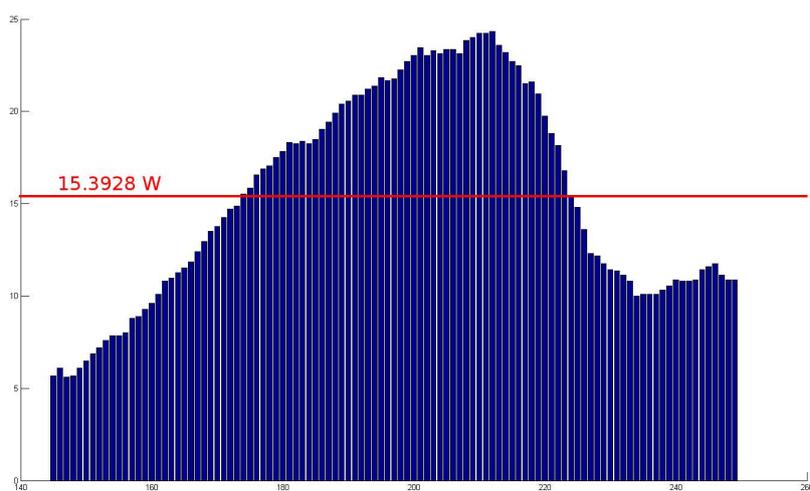


Figure 7.0.5: *Andamento simulato di un televisore, secondo il modello di Poisson, svolta su tre giorni*

Questo particolare problema non è stato evidente nella simulazione del frigo-congelatore precedentemente discussa perché, quel tipo di dispositivo non presenta un comportamento dipendente dalle fasce orarie, quindi il flusso di potenza è assimilabile a un consumo circa costante nel corso della giornata.

E' bene precisare tuttavia che la soluzione della simulazione svolta sul periodo delle tre giornate consecutive ha portato ad andamenti temporali distorti rispetto a quelli presentati nella singola giornata. Questo aspetto è legato all'utilizzo di una successione di pesi per le singole ore della giornata. Tale approccio porta ad avere dei fenomeni di eventi al di fuori della normale statistica che si ritrovano in periodi esterni alla singola giornata, avendo prolungato di fatto la durata della simulazione, che alterano gli andamenti dei periodi successivi, in questo caso del secondo giorno simulato, e hanno come conseguenza un'alterazione del profilo generato.

7.1 Validazione di simulazioni in cui si è utilizzato ApEd

Discutiamo ora su alcune considerazioni che sono emerse durante i test svolti sulle simulazioni ottenute mediante l'uso di profili di carico disegnati con ApEd.

Per poter realizzare in maniera adeguata gli andamenti richiesti per questa opzione di sintesi, è necessario essere in possesso delle curve di carico, fornite dai produttori o misurate, durante i normali cicli di carico per i vari elettrodomestici. Bisogna tenere presente che i dati rilevati nel corso delle misure sul campo, sia dal progetto MICENE che dagli equivalenti studi svolti in altre nazioni, sono stati compiuti sul reale utilizzo degli elettrodomestici. Questo è importante, infatti è presumibile che le condizioni di uso delle varie appliances, tranne in casi particolari, siano state differenti per i singoli nuclei familiari, ma anche fra usi consecutivi per lo stesso nucleo. Quindi ciascuna rilevazione ha tenuto conto della situazione particolare in quel preciso ciclo di utilizzo. Prendiamo ad esempio la classe delle lavabiancheria, la quantità di vestiti che si stanno lavando è certamente influente sul consumo che il motore richiede, mentre una dipendenza meno stretta si potrà osservare con la potenza richiesta dall'elemento riscaldante.

Un altro parametro che è stato raccolto in forma implicita per ciascun ciclo misurato è la modalità di utilizzo richiesto. Di nuovo, considerando l'esempio della lavatrice, il ciclo è funzione del tipo di abbigliamento da lavare, quindi è legato alle abitudini del singolo gruppo familiare, ma è anche funzione del periodo stagionale in cui si svolgono le misurazioni e delle preferenze di utilizzo dell'elettrodomestico da parte dei colui che lo utilizza.

Quindi le rilevazioni, anche su di un singolo sito, presentano una grande quantità di variabili nascoste all'interno dei dati stessi, variabili che una volta che si è compiuta l'operazione di aggregazione vengono irrimediabilmente perse, a meno che non vengano salvate in modo parallelo con le singole misurazioni.

In tutti i lavori osservati si sono poi considerati siti di misura eterogenei, così da

valutare i comportamenti mediati su un ampio spettro di possibili appartamenti.

Oltre agli aspetti appena descritti, in questa maggiore aggregazione si possono individuare altri tipi di variabili che si perdono a questo livello. La prima che si riesce a scorgere è legata alla differenza fra le marche e i modelli delle appliances considerate. Leggendo i dati raccolti non si trovano mai riferimenti a informazioni riguardanti questo aspetto dello studio. Dal punto di vista della simulazione, sarebbe invece importante poter disporre dei reali dati relativi a queste caratteristiche, anche se una possibile soluzione per aggirare questo ostacolo potrebbe essere quella di valutare le ricerche di mercato e considerare quelle come la statistica delle distribuzioni delle tipologie di dispositivi da simulare. Di nuovo sono i dati l'aspetto critico anche per questa operazione: per ottenere un andamento simulato conforme con questa suddivisione, è necessario allora ottenere gli andamenti di tutti i singoli elettrodomestici, sia per marca che per modello, nella categoria di interesse.

Anche l'età dei dispositivi è utile per valutare i loro profili di carico, infatti i produttori riducono i consumi ad ogni nuova generazione di appliance, per rispettare norme sempre più severe in merito, o per raccogliere l'interesse della fascia di mercato costituita da coloro che sono attenti ai consumi energetici. In realtà questi dati sono spesso raccolti durante il tipo di campagne da cui i lavori considerati sono tratti, ma talvolta non sono riportati all'interno delle relazioni finali, rendendo di fatto impossibile una loro ricostruzione.

Da questa serie di considerazioni, risultano chiare le difficoltà che si incontrano in caso si decida di utilizzare un approccio come quello descritto. Gli ostacoli che si incontrano lungo questa strada sono la mancanza dei dati completi, a cui si deve aggiungere la necessità di darne un'interpretazione corretta.

Anche un altro problema deve essere affrontato dopo aver estrapolato tutti i valori necessari alla simulazione, cioè la validazione di un modello di questa completezza. Come si è già discusso, le rilevazioni sono svolte su un set molto eterogeneo di abitazioni, quindi ogni volta che si sceglie un insieme di siti di misurazione con queste caratteristiche si otterranno andamenti differenti, non è quindi possibile utilizzare un'unico modello, ma di volta in volta è necessario aggiustare i parametri della simulazione per ottenere l'approssimazione cercata. Per quanto riguarda la validazione di un sistema di variabili tanto complesso, questa operazione risulta difficile e non sempre ripetibile.

7.2 Validazione per via grafica

Nel corso delle prove effettuate, la validazione delle simulazioni è stata svolta inizialmente per via grafica, ispezionando cioè gli andamenti generati dal simulatore e confrontandoli con quelli presentati nei lavori presi come riferimento. Come già accennato in precedenza, le prime features ad essere utilizzate per la validazione sono state i valori di massimo e minimo degli andamenti presi a modello.

I valori relativi alla potenza media per il modello di Poisson, assieme alla durata dei cicli di funzionamento sono stati le principali leve su cui si è agito per ottenere delle realizzazioni considerate corrette almeno dal punto di vista dei flussi di potenza per l'applicance che di volta in volta si andava a considerare. Anche se nelle prime fasi del progetto si era stabilita una priorità non elevata alla correttezza temporale delle simulazioni, si è considerata questa caratteristica in fase di validazione come un modo semplice per controllare la validità dei modelli. Per ottenere questo risultato, si è utilizzata la funzione peso, di cui si è discusso in modo più approfondito nel capitolo relativo agli algoritmi utilizzati, per portare gli andamenti delle potenze simulate ad assomigliare quanto più possibile a quelli di riferimento.

Il raggiungimento di una buona corrispondenza temporale, con il contemporaneo rispetto delle features sulla potenza, ha consentito di validare in prima battuta il modello con un confronto visivo fra gli andamenti.

Il principale problema di questo tipo di validazione è la mancanza di oggettività. Se infatti è semplice, conducendo questo confronto, dire se le forme d'onda si assomiglino, molto più difficile è valutare quanto sia marcata la somiglianza. Per stabilire se ritoccano qualche parametro la simulazione risulti migliorata, sarebbe utile fare riferimento ad una grandezza oggettiva, idonea a fornire questa informazione, ma con questa forma di validazione non è possibile.

Si è quindi considerata la possibilità di svolgere un'altra procedura che sia ottenuta basandosi su di un approccio matematico del confronto fra i risultati.

7.3 Validazione per istogramma

Il procedimento individuato per migliorare l'oggettività della validazione si basa sul confronto degli istogrammi ottenuti dall'analisi dei profili delle potenze reali e simulate. Questa operazione è assimilabile ad un confronto di tipo statistico: si scompone il range delle potenze in sotto intervalli uniformi (bins) e si conta quante volte il flusso di potenza assume un valore compreso in quello specifico bin. Se gli andamenti fossero uguali, è

7 Validazione

evidente che si avrebbe perfetta corrispondenza fra i risultati ottenuti sul riferimento e a gli esiti della simulazione.

Prendiamo come esempio la simulazione della classe televisore. Una precisazione è doverosa prima di iniziare a svolgere il confronto. Gli andamenti presi dai lavori di riferimento sono stati estrapolati dall'immagine del diagramma fornito. Questo compito è stato affidato ad uno script in matlab creato allo scopo di estrarre dai grafici i valori numerici associati con la massima precisione possibile. Il procedimento porta ad ottenere un vettore, di dimensioni pari al numero di punti di interesse individuati, contenente i dati ricavati dall'ispezione dell'immagine di partenza.

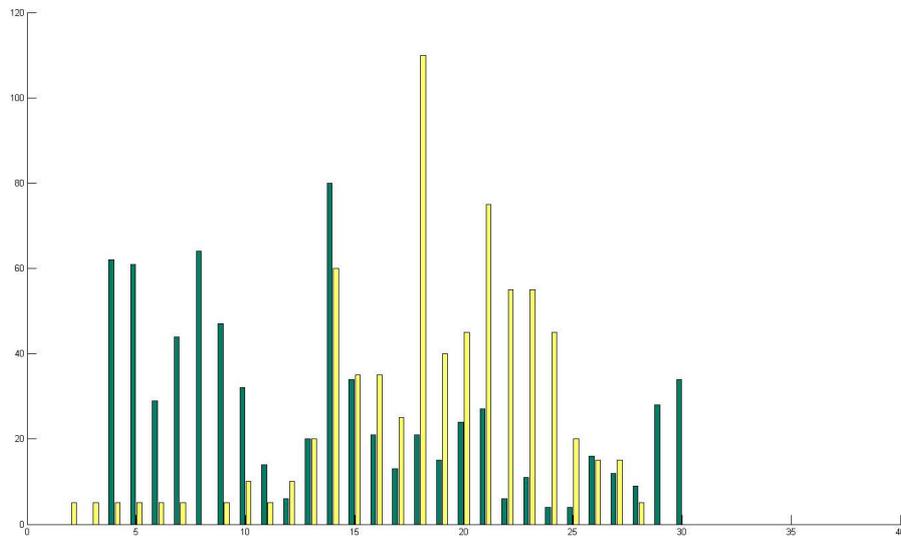


Figure 7.3.1: *Confronto fra gli istogrammi per i televisori, ricavati dal progetto MICENE (verde) e quello simulato sul singolo giorno(giallo)*

7 Validazione

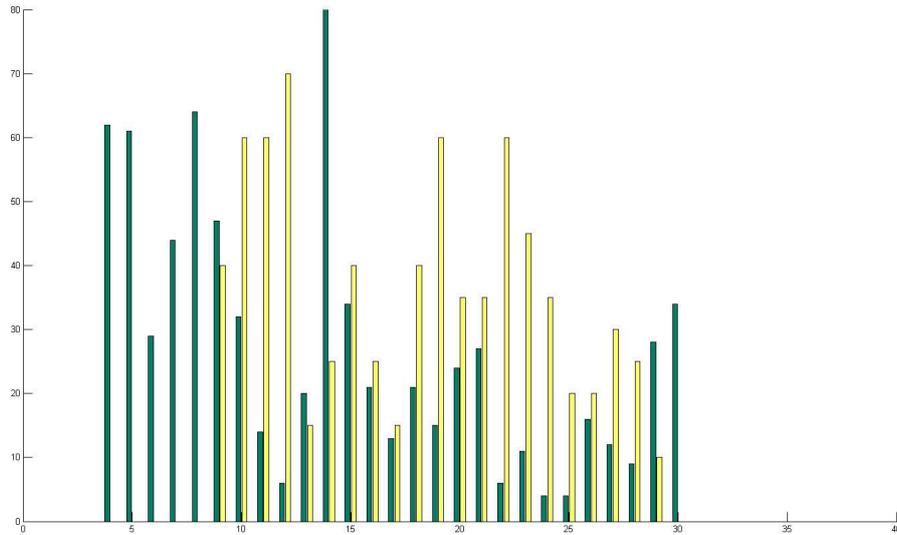


Figure 7.3.2: *Confronto fra gli istogrammi per i televisori, ricavati dal progetto MICENE (verde) e quello simulato sul periodo di 3 giorni (giallo)*

Osservando gli andamenti ottenuti, sia con le simulazioni svolte su un solo giorno, sia con quelle calcolate su tre giorni e mantenendo il giorno centrale, si osserva che ad un confronto grafico, sembra che il risultato della prima forma risulti nettamente migliore, ad eccezione delle prime ore mattutine di cui si è già discusso. Andando invece a confrontare gli istogrammi ottenuti, con uguale separazione in bins (elemento fondamentale per garantire la corretta comparazione dei due risultati), si notano delle notevoli differenze nella distribuzione delle componenti.

Anche nella rappresentazione per istogrammi possiamo ritrovare le disomogeneità che si erano individuate per via grafica. E' infatti possibile collegare direttamente le differenze fra le ore 0.00 e le 7.00 con i valori che si leggono nell'istogramma, specialmente le componenti associate a valori di piccola ampiezza, che risultano nella versione simulata.

Il comportamento presentato dalla simulazione è comunque caratterizzato da una serie di spike, legati come già detto al modello utilizzato. E' quindi evidente che vi siano in generale delle componenti che non si distribuiscono esattamente come quelle presentate dal progetto MICENE. Inoltre il simulatore ha generato in totale 1000 simulazioni per giungere al risultato mostrato, mentre non è disponibile il dato sul numero complessivo di cicli realmente misurati nel periodo in cui si è svolta la procedura di raccolta dati.

Confrontando invece gli istogrammi fra i dati reali e quelli ottenuti mediante una

simulazione svolta sui tre giorni, i due diagrammi risultano maggiormente simili fra loro rispetto all'altra simulazione, contrastando con il risultato del confronto visivo.

7.4 Confronto numerico e per integrazione

Per fornire un metro di paragone fra confronti successivi, si è deciso inizialmente di utilizzare la somma dei valori assoluti delle differenze fra gli istogrammi, ottenendo un valore che si sarebbe potuto quindi direttamente collegare con la somiglianza fra i risultati. In questo caso si è ottenuto un valore di 278 per la simulazione sui tre giorni, contro un 777 dal confronto fra i dati reali e la simulazione sul singolo giorno. Ancora si vede come la mancanza di dati utili renda la procedura di simulazione prima e di valutazione poi molto complicata da affrontare.

Per avere un ulteriore metro di riferimento, si è successivamente deciso di utilizzare lo stesso tipo di confronto che è stato mostrato in [3]. In questo caso si utilizza una versione mediata delle differenze fra le componenti osservate e quelle simulate.

$$NVF = \frac{\sum_i (pred_i - rec_i)^2}{n * rec_0^2} \quad (7.4.1)$$

dove si sono indicati:

- $pred_i$ rappresenta il valore predetto al passo i -esimo;
- rec_i rappresenta il valore misurato al passo i -esimo;
- rec_0 rappresenta il valore medio dei valori misurati;
- n rappresenta il numero di passi nel periodo giornaliero.

Come si vede dalla formula, si procede utilizzando la somma dei quadrati delle differenze rilevate, e mediando successivamente sia sul numero di campioni raccolti, che sul valore medio reale rilevato. In questa maniera si ottiene un coefficiente compreso fra 0 e 1, che risulta di piccola entità quando viene applicata nel confronto fra profili simili fra loro. Inoltre questa operazione non è stata svolta sugli istogrammi ricavati dai campioni, ma sulla sequenza stessa dei dati. Questo approccio non solo consente di valutare la distribuzione statistica delle ampiezze simulate, ma anche la correttezza dal punto di vista temporale. Quest'ultima informazione infatti era completamente persa nel corso del passaggio all'istogramma, e quindi questo nuovo parametro di confronto può essere di maggior interesse per la taratura della simulazione.

7 Validazione

Andiamo ad osservare alcuni dei risultati ottenuti con questo secondo approccio. Come primo passo si è utilizzato la stessa simulazione presentata per il confronto mediante differenza fra gli istogrammi, quindi si sono comparati gli andamenti di riferimento e quelli simulati per un televisore. Questa volta si ottiene il valore di 0.1355 che, se confrontato con i valori riportati dal riferimento da cui la formula utilizzata è stata tratta, consente di affermare che il modello utilizzato non risulta altrettanto fedele di quello che lo stesso lavoro [3] presenta. Tuttavia bisogna considerare che osservando il comportamento ottenuto, il problema è probabilmente legato alla taratura non ottimale dei valori assegnati al vettore dei pesi utilizzati.

Svolgendo lo stesso tipo di confronto con altri dispositivi simulati si ottengono risultati più significativi, ad esempio per il PC si ottiene un coefficiente di differenza pari a 0.0415, che conferma la bontà del modello quando questo sia tarato in maniera adeguata.

Un ulteriore modo per confrontare i risultati della simulazione con i dati di riferimento è quello di porre in un medesimo grafico gli andamenti dell'integrazione svolta sui dati reali e su quelli simulati. Questo tipo di analisi ha il pregio di fornire utili indicazioni rispetto agli andamenti temporali delle differenze, offrendo in questo modo delle informazioni aggiuntive per identificare dove sia possibile intervenire per migliorare la verosimiglianza dei risultati coi dati, consente cioè di operare in maniera particolarmente semplice sulla taratura dei pesi attribuiti, infatti è immediato vedere dove gli andamenti temporali presentano comportamenti differenti.

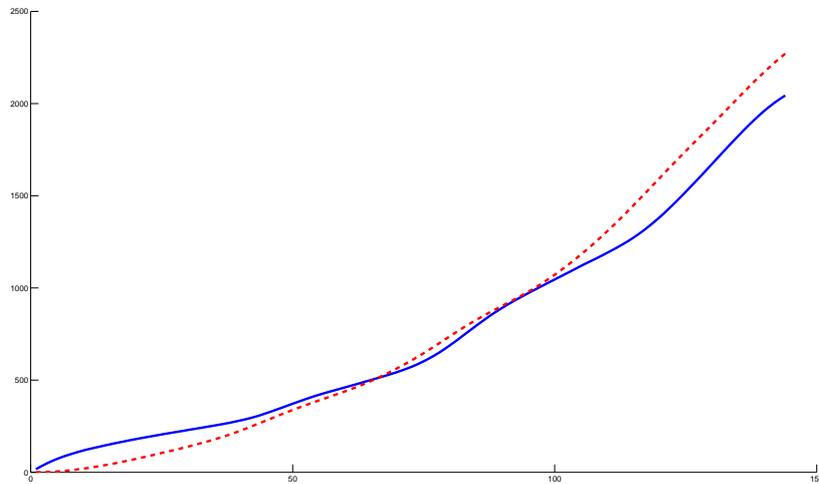


Figure 7.4.1: *Confronto fra i dati simulati(rosso) e reali(blu) nel caso delle TV*

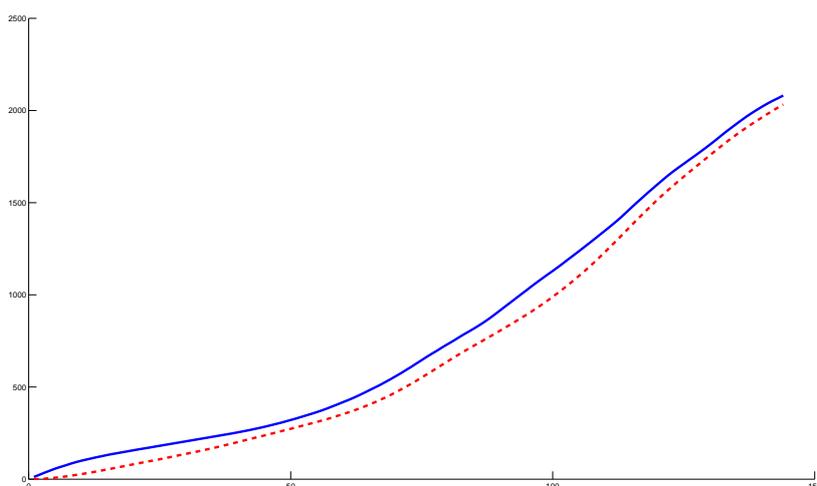


Figure 7.4.2: *Confronto fra i dati simulati(rosso) e reali(blu) nel caso delle PC*

7.5 Considerazioni sui dispositivi simulati

Nel corso della validazione, si è considerato come riferimento il progetto MICENE [7]. Dopo aver preso in considerazione diversi progetti analoghi, si è deciso di utilizzare i dati di questa ricerca come elementi di confronto per la validazione, infatti questo progetto è uno dei pochi ad essersi sviluppato sul territorio nazionale italiano, consentendo quindi di poter svolgere delle considerazioni di carattere personale sugli utilizzi dei vari elettrodomestici e sul loro utilizzo. A livello internazionale, le modalità in cui le varie appliances vengono adoperate sono spesso caratteristiche di abitudini locali che non si sarebbero potute tenere in considerazione durante la taratura dei modelli della simulazione. Inoltre il progetto MICENE è stato svolto in tempi relativamente recenti [2004], e quindi è auspicabile una maggior correlazione con i parametri energetici attualmente disponibili per gli elettrodomestici simulati.

Il principale problema del progetto MICENE è però il basso numero di dispositivi presi in considerazione, e quindi validabili secondo i dati che esso riporta. In sostanza il progetto si è concentrato sugli apparati di carattere ludico e ricreativo, quali televisori, personal computer e videoregistratori. Al di fuori di questa categoria, i dati raccolti riguardano illuminazione, dispositivi per il freddo e per il lavaggio (lavastoviglie e lavabiancheria) e apparati per il riscaldamento dell'acqua. Le operazioni di validazione diretta, che hanno quindi portato ad un modello completamente definito, hanno riguardato per

la maggior parte le appliances di intrattenimento, assieme ai dispositivi per il freddo, e si sono in sostanza ottenute delle corrispondenze più che soddisfacenti con i dati del progetto MICENE.

Tuttavia è bene osservare che gli apparati per il lavaggio sono stati simulati anch'essi, ma non si è riusciti a produrre una adeguata corrispondenza con i profili forniti. Questo comportamento è stato analizzato per capire quale fosse la causa delle discrepanze osservate, e si è giunti alla conclusione che il problema è legato al tipo di dispositivo. Infatti questa categoria di elettrodomestici è stata caratterizzata nel corso di questi ultimi anni da una rapida serie di modifiche mirate ad incrementarne l'efficienza dal punto di vista energetico. Sia le lavatrici che le lavastoviglie sono caratterizzate da un elevato consumo, caratteristica che ne ha imposto una rigida regolamentazione dal punto di vista energetico al fine di ridurre gli sprechi complessivi degli appartamenti che ne sono dotati. In conseguenza di questa politica, risulta chiaro che apparati di età differenti sono caratterizzati da profili di carico molto diversi, come pure da valori di consumi talvolta non confrontabili fra loro.

A conferma della nostra osservazione si possono osservare i profili che lo stesso progetto MICENE mette a disposizione:

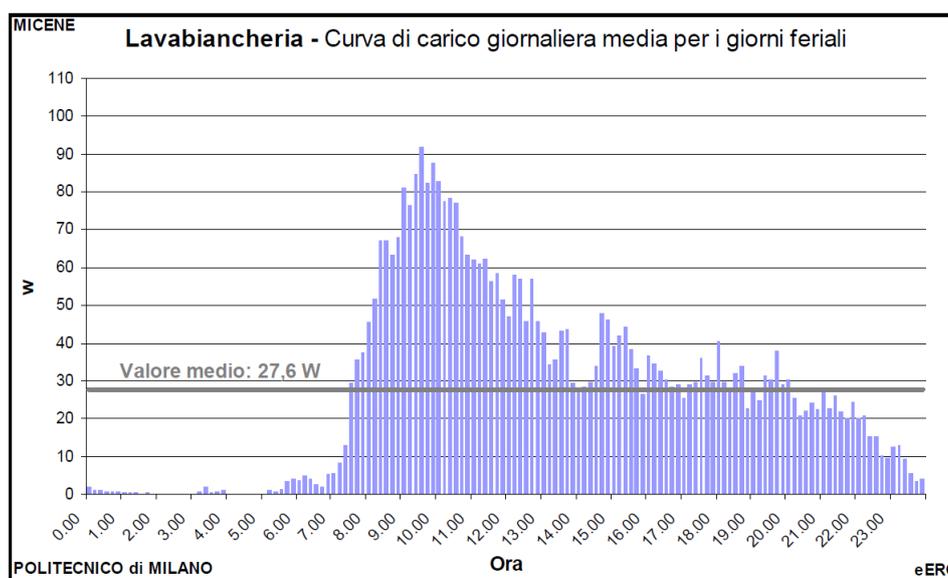


Figure 7.5.1: *Andamento del profilo di consumo per una lavabiancheria, estratto dal progetto MICENE*

rispetto a quelli presentati per le altre categorie di dispositivi, questo tipo di appliances presenta un andamento molto meno nitido, caratterizzato da frequenti spike. Questo

comportamento si è osservato anche nelle nostre simulazioni, nei casi in cui il calcolo sia svolto con una grande varianza sui tempi di accensioni e un numero esiguo di cicli di generazione dei profili, a conferma che i dati raccolti su di una classe così eterogenea di dispositivi necessitano di un'analisi più approfondita e di una maggior precisione dal punto di vista delle rappresentazione.

Analoghe considerazioni si possono fare sui consumi degli impianti di illuminazione e sui dispositivi per il riscaldamento dell'acqua. In questo caso, se è vero che i profili che si trovano nel lavoro di riferimento sono più uniformi, bisogna anche tenere in considerazione che in virtù del tipo di utilizzo e delle potenze in gioco, i già discussi effetti di media contribuiscono a nascondere le differenze intrinseche al set osservato.

7.6 Aggregazioni

Svolta la validazione di una quantità sufficiente di singole appliances, in questo caso frigoriferi, TV, PC e videoregistratore, abbiamo svolto le operazioni di aggregazione sia sugli analoghi dispositivi reali, che sui modelli simulati. Dopo aver ottenuto le due aggregazioni si è utilizzato lo stesso approccio descritto in precedenza, così da avere un metro di riferimento per i risultati presentati.

Per prima cosa si è svolta una ispezione visiva dei diagrammi a barre ottenuti, e da questo primo confronto si possono chiaramente vedere delle buone somiglianze, tanto da far notare come la procedura di aggregazione abbia portato ad una migliore corrispondenza, già a livello di una singola unità abitativa (Figura 7.6.1 e 7.6.2).

Questo aspetto era prevedibile, infatti l'aggregazione porta a osservare i fenomeni di media, di cui si è già più volte parlato, e quindi riduce le differenze puntuali che si possono venire a creare nel corso delle simulazioni delle singole appliances rispetto alle controparti reali. Come si può anche notare osservando i profili ottenuti, il ripple che si è molto spesso presentato sovrapposto agli esiti simulati è del tutto confrontabile nel caso reale e in quello ottenuto per sintesi. Questa somiglianza induce a pensare che il modello proposto, in questo primo caso quello legato all'approssimazione di Poisson, sia tanto più valido quanto più intensa risulta l'operazione di aggregazione svolta.

7 Validazione

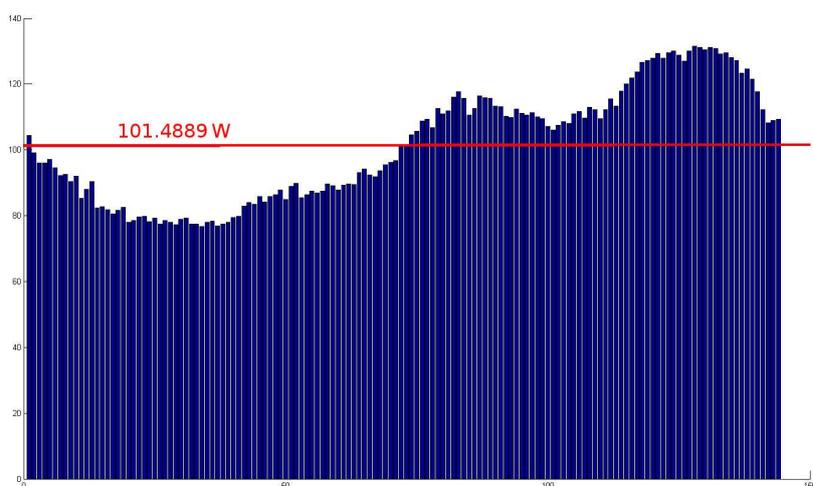


Figure 7.6.1: *Aggregazione ottenuta dai dati del progetto MICENE*

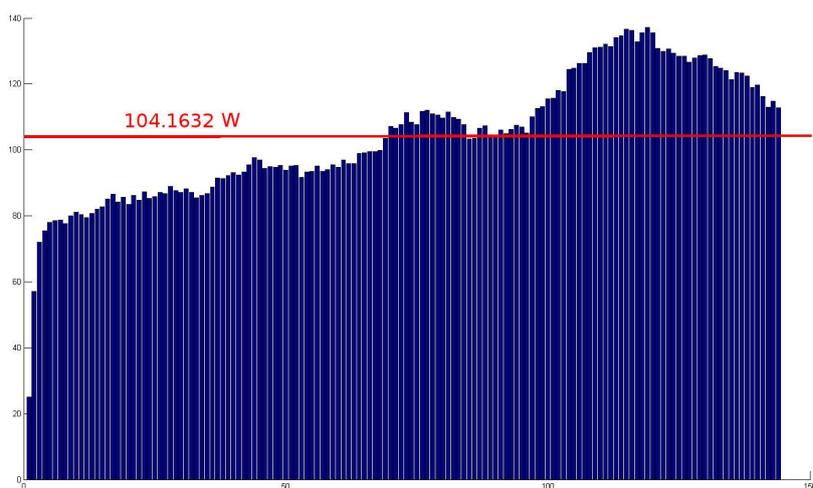


Figure 7.6.2: *Aggregazione ottenuta dalle simulazione con modello di Poisson*

Il confronto fra istogrammi ha portato nuovamente ad osservare delle pesanti differenze fra gli andamenti in esame, ma si è già notato che questo approccio tende ad evidenziare le differenze numeriche risultanti dalle simulazioni, portando a sovrastimare il grado di differenza fra gli andamenti (Figura 7.6.3).

7 Validazione

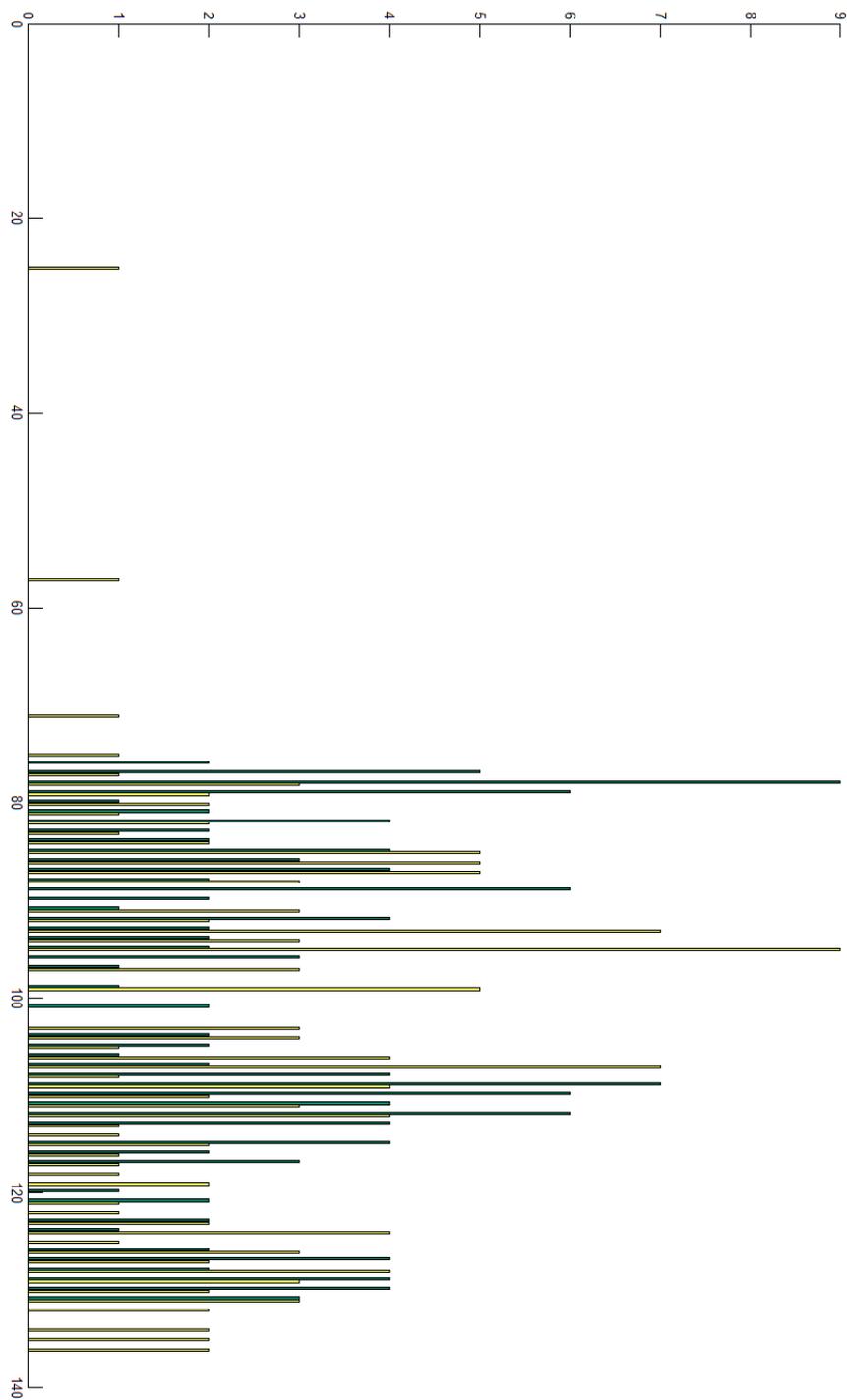


Figure 7.6.3: *Confronto fra gli istogrammi delle aggregazioni ottenute dal progetto MICENE (in scuro) e dal modello di Poisson (in chiaro)*

7 Validazione

In realtà, le ampiezze degli istogrammi risultano maggiormente discretizzate rispetto al caso di singoli dispositivi. Questo aspetto potrebbe confermare le ipotesi precedentemente esposte riguardo alla necessità di eseguire una taratura adeguata dei pesi per le varie appliances al fine di poter calcolare adeguatamente i profili sotto l'aspetto temporale, mentre gli effetti di media riducono le variazioni locali ottenute nelle singole simulazioni.

Il confronto svolto mediante l'operazione di integrazione, ha portato a confermare la corrispondenza dei profili dal punto di vista della verosimiglianza dei risultati. I due andamenti mostrati in figura 7.6.4 risultano effettivamente molto prossimi, indice di un buon rispetto negli andamenti simulati, sia dal punto di vista temporale che delle ampiezze.

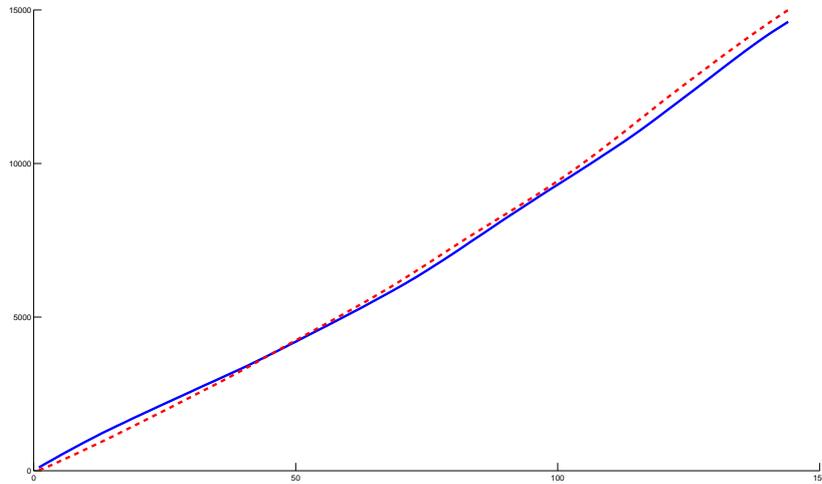


Figure 7.6.4: *Confronto fra gli integrali delle aggregazioni ottenute dal progetto MICENE (in blu) e dal modello di Poisson (in rosso)*

Utilizzando la formula proposta 7.4.1, si è calcolato un indice numerico che valuta lo scostamento complessivo fra l'andamento ottenuto dal progetto MICENE e quello risultato dall'aggregazione dei dati simulati. Il valore così determinato è pari a 0.0139, che se confrontato con i valori presentati nel lavoro [3] risulta decisamente un buon risultato, soprattutto considerato il modello utilizzato e le scelte svolte per la taratura dei pesi.

Anche l'approccio mediante mappe caotiche è stato testato e validato dal punto di vista dell'aggregazione. In questo caso il risultato complessivo per il profilo di flusso

7 Validazione

dell'appartamento è stato calcolato in un unico passaggio, utilizzando le mappe caotiche come modello per simulare i consumi all'interno del ciclo. Per ottenere l'andamento finale e collegare le ampiezze del flusso con il profilo temporale, si è fatto uso di un vettore di coefficienti analogo a quello dei pesi per il modello di Poisson. Questo vettore è stato utilizzato per alterare i valori che il coefficiente d assume nel corso della simulazione, come già discusso nel capitolo relativo agli algoritmi. E' bene precisare che in questa simulazione, i pesi sono stati ottenuti con la precisione dei 10 minuti, estrapolandoli direttamente dal profilo complessivo relativo all'aggregazione secondo il modello di Poisson.

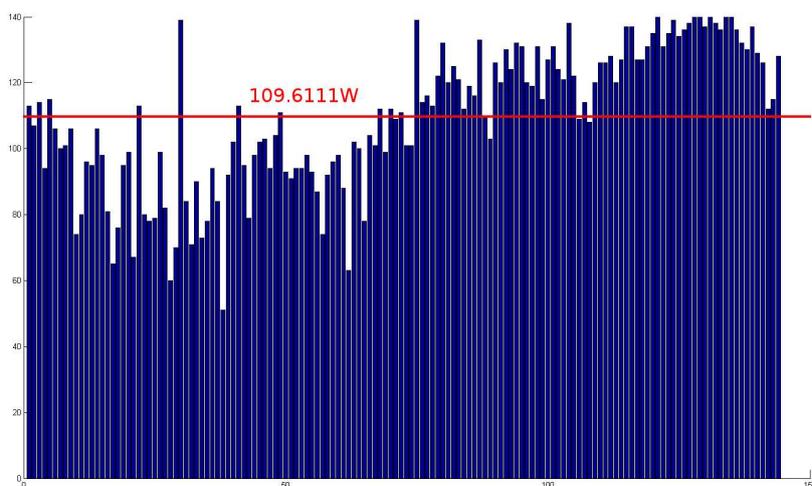


Figure 7.6.5: *Flusso aggregato ottenuto mediante mappe caotiche e vettore d generato dall'aggregazione della simulazione secondo Poisson*

La validazione, come nei casi precedenti, è stata svolta confrontando sia dal punto di vista grafico, che mediante istogrammi e integrazione, i profili ottenuti per via simulativa e quello precedentemente generato mediante estrapolazione del lavoro MICENE.

La prima forma di confronto è stata, come si è fatto in precedenza, quella dell'ispezione grafica dei risultati, arrivando ad osservare come vi sia una buona corrispondenza fra l'andamento simulato e quello reale. Si possono vedere delle più forti irregolarità dell'andamento generale all'interno della simulazione, ma questo è un aspetto caratteristico del comportamento delle mappe caotiche, soprattutto considerando come in questo caso si sia utilizzato un passo minimo nella simulazione di 1W. Dalle precedenti aggregazioni, sia sul progetto MICENE che sulla simulazione svolte mediante Poisson, si è individuato un

7 Validazione

valore di potenza massima nel profilo pari a 140 quindi si sono generati 140 passi della mappa per simulare un singolo step nel profilo finale, così da garantire il rispetto della massima potenza richiesta. Questo tipo di impostazioni, porta sicuramente ad ottenere dei risultati con caratteristiche come quelle che il profilo calcolato presenta, in virtù della forte variabilità intrinseca al modello delle mappe caotiche.

Il confronto per istogrammi si è rivelato ancora una volta peggiorativo, andando a presentare delle pesanti differenze nelle ampiezze delle componenti, ma questo andamento è perfettamente in linea con quanto atteso. Il modello delle mappe caotiche rende infatti non trascurabile la probabilità che si verifichino comportamenti di irregolarità al di fuori della normale statistica su cui l'algoritmo è tarato, e quindi le componenti che si sono osservate in precedenza nel corso dell'ispezione visiva sono rappresentate con un peso non trascurabile anche all'interno del confronto fra gli istogrammi. Nel caso delle mappe caotiche il comportamento particolarmente "rumoroso" del profilo generato rende quindi ancora più marcate le differenze fra le due rappresentazioni (Figura 7.6.6).

7 Validazione

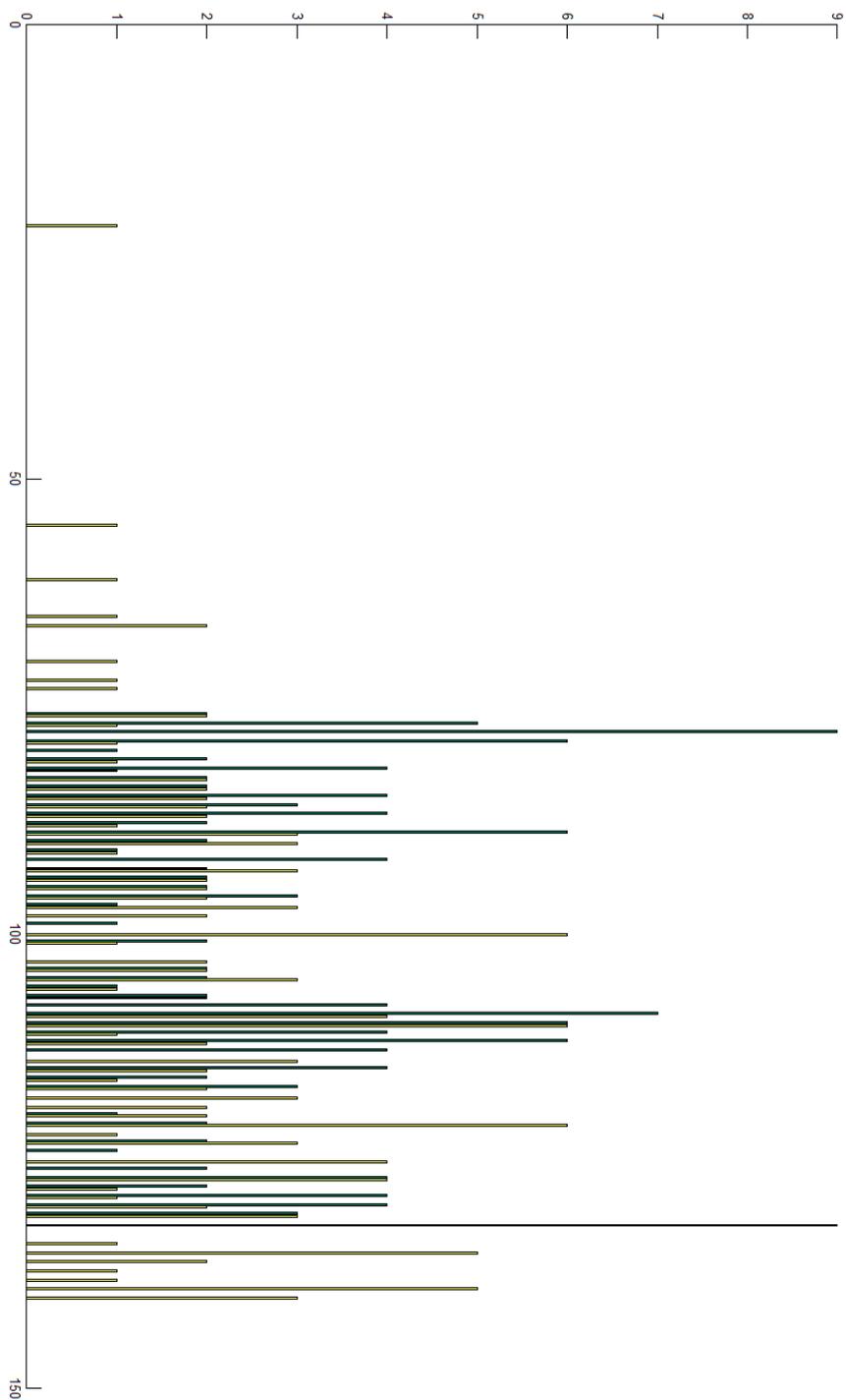


Figure 7.6.6: *Confronto fra gli istogrammi delle aggregazioni ottenute dal progetto MICENE (in scuro) e dal modello delle mappe caotiche on i pesi ottenuti dalla simulazione secondo Poisson (in chiaro)*

7 Validazione

La conferma dell'efficacia delle mappe caotiche per la simulazione dell'intera aggregazione è però giunta dall'analisi svolta mediante l'algoritmo di confronto già utilizzato in precedenza, che ancora una volta ha consentito di stimare un valore numerico per il grado di verosimiglianza fra i profili. In questo caso specifico, si è ottenuto un valore pari ad 0.0279, decisamente segno di una corrispondenza buona fra gli andamenti osservati.

In fine, si è utilizzato il confronto mediante operazione di integrazione, che ha evidenziato per i flussi considerati un comportamento sostanzialmente analogo, sia sotto il punto di vista della distribuzione temporale che delle potenze, mettendo in luce però una differenza legata alle ampiezze che va via via crescendo con il “tempo” di simulazione. Anche questa discrepanza si può facilmente associare alla presenza delle componenti di ampiezza eccessiva che si sono osservate nel corso della prima ispezione visiva dei diagrammi. Sono quindi discrepanze da associare al modello utilizzato, e nel complesso non alterano la generale validità di questo approccio per il compito che la simulazione deve svolgere.

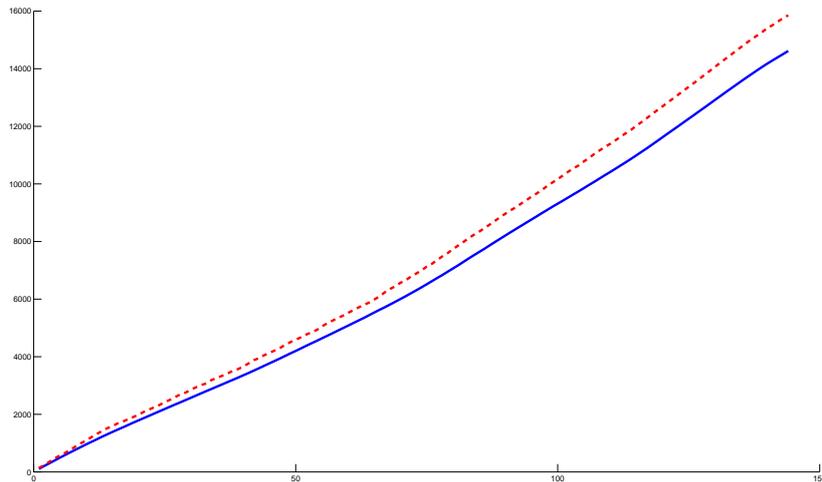


Figure 7.6.7: *Confronto mediante integrazione fra l'aggregazione ottenuta dal progetto MICENE (blu) e la simulazione mediante mappa caotica con vettore d'ottenuto dall'aggregazione di modelli di Poisson (rosso)*

La tendenza a divergere dei due andamenti è frutto appunto della presenza delle componenti caratteristiche generate dal modello delle mappe caotiche. In generale, si possono osservare principalmente ampiezze sovrastimate, cioè si incontrano componenti di ampiezza maggiore di quelle che i dati reali presentano. Questo aspetto, considerando

7 Validazione

l'operazione di integrazione, porta ad una serie di termini positivi che si sommano via via, dando luogo alla divergenza monotona osservata.

Si è poi ripetuto lo stesso procedimento sopra descritto anche utilizzando il profilo reale come base per la stima del vettore delle intensità delle mappe caotiche. In questo caso si è ottenuto un andamento in generale ancora più aderente alle aspettative (Figura 7.6.8).

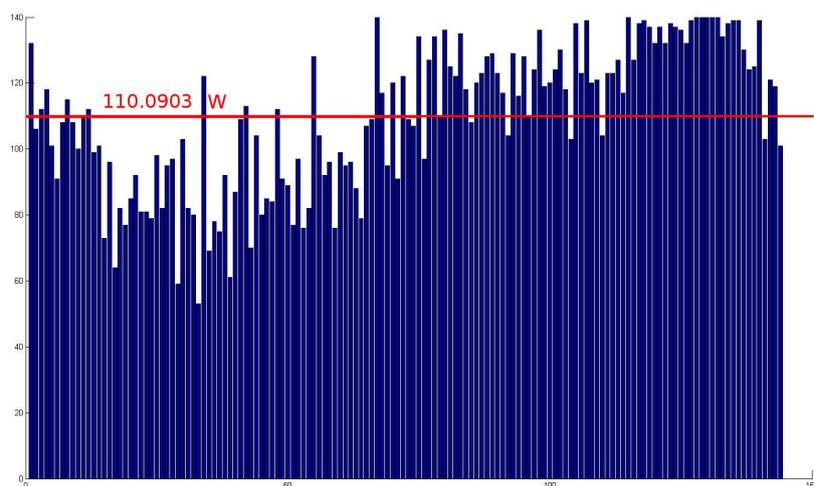


Figure 7.6.8: *Flusso aggregato ottenuto mediante mappe caotiche e vettore d ottenuto dai dati del progetto MICENE*

Questo risultato è chiaramente dato dall'aver utilizzato il profilo reale per la generazione delle intensità. Il confronto di tipo visivo e per istogramma porta a svolgere le medesime considerazioni descritte nel precedente approccio. Osservando invece l'indice di verosimiglianza, si nota come la taratura delle mappe direttamente sull'andamento reale porti ad un miglioramento dell'aderenza della simulazione, consentendo di ottenere un primo indice pari a 0.0218.

Di seguito si riporta il confronto fra gli andamenti ottenuti da dieci simulazioni svolte utilizzando i due diversi metodi per la stima delle intensità delle mappe caotiche.

7 Validazione

REALI	SIMULATI
0.0218	0.0279
0.0177	0.0331
0.0166	0.033
0.0171	0.0315
0.0157	0.025
0.0242	0.0274
0.0187	0.0269
0.016	0.0302
0.0193	0.0308
0.0197	0.0304

Table 7.1: *Confronto fra i risultati ottenuti dall'uso delle mappe caotiche con le tarature sui valori reali e simulati*

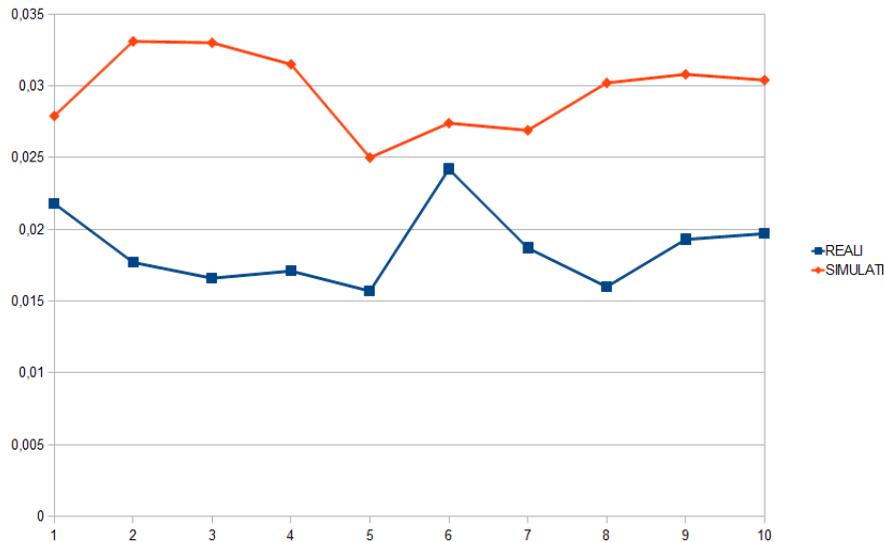


Figure 7.6.9: *Confronto fra gli indici di verosimiglianza, nel caso di taratura delle mappe caotiche sui dati simulati(rosso) o sui dati reali(blu)*

Come si vede, i risultati sono stati sempre molto positivi e ben all'interno delle fasce presentate nel lavoro [2]. Si può affermare che anche il modello delle mappe caotiche, con un adeguato processo di taratura, risulta perfettamente idoneo per le simulazioni di interesse, consentendo al contempo di ottenere direttamente i risultati per l'aggregazione senza la necessità di simulare singolarmente le appliances.

8 Conclusioni

Il lavoro svolto nel corso di questa tesi è stato mirato all'analisi, dal punto di vista matematico e statistico, di un simulatore in grado di generare profili di potenza verosimili per essere di supporto alle attività legate alla progettazione di sistemi di controllo e di dimensionamento delle reti nel campo delle piccole potenze e delle utenze domestiche.

Di pari passo con lo studio matematico, si sono prodotti degli strumenti software che hanno fatto uso degli approcci sviluppati per svolgere le fasi necessarie alla generazione dei profili finali simulati, e si è infine svolta una procedura di validazione atta a valutare la bontà del lavoro svolto.

Osservando la procedura di validazione svolta e i risultati che si sono ottenuti è possibile trarre alcune considerazioni utili. Come si è visto la validazione si è svolta inizialmente utilizzando la versione più semplice dei modelli sviluppati nel corso del lavoro di tesi. Questa non è stata una scelta dettata dalla mancanza di validità degli altri modelli studiati, ma una necessità legata alle operazioni di validazione. Successivamente si sono utilizzati gli esiti della prima serie di simulazioni e i modelli più avanzati per generare in un unico passaggio gli esiti di aggregazioni. Ne consegue che per validare e tarare adeguatamente quei modelli, è stato prima necessario svolgere una serie di simulazioni per ottenere dei riferimenti attendibili.

Anche il numero di elettrodomestici simulati è risultato affetto dalla più volte citata carenza di dati. Si è deciso che le procedure di validazioni erano da considerarsi di primaria importanza per il corretto svolgimento del lavoro di tesi, e quindi lo sviluppo di simulazioni con modelli non attentamente validati non è stato inserito nel lavoro qui presentato.

Nonostante queste limitazioni, osservando gli esiti delle simulazioni validate, si può notare come i profili generati mediante i modelli presentati, pur ottenuti con approcci meno sofisticati di quelli presentati in letteratura, abbiano rispecchiato gli andamenti che i lavori di raccolta dati a nostra disposizione illustrano. La precisione che si è riuscita ad ottenere è in gran parte legata ad aspetti facilmente modificabili all'interno della serie di script che costituiscono l'ossatura della suite di simulazione. La possibilità da parte dell'utente di modificare nel modo più semplice possibile, per adattare i modelli alle

8 Conclusioni

singole esigenze, è stata di fatto una delle richieste implicite all'interno del lavoro svolto.

Anche il programma progettato per svolgere il disegno e la visualizzazione dei profili generati si è comportato in maniera adeguata. Tutte le funzionalità richieste sono già state implementate e sono correttamente funzionanti, anche se il presente lavoro di tesi si è focalizzato maggiormente sull'analizzare maggiormente gli aspetti matematici legati agli algoritmi di simulazione e sintesi dei risultati.

Proprio l'aspetto di studio degli algoritmi è stato il punto fondamentale del lavoro, con la necessità di affrontare problemi nuovi che hanno esulato dalla semplice analisi matematica dei profili, sconfinando spesso in ambiti legati all'aspetto sociologico e politico dell'uso dell'energia. Osservando questo aspetto, risultano chiare molte delle scelte che hanno spinto i ricercatori dei lavori presi come riferimento a svolgere delle analisi basate su presupposti differenti rispetto a quelli che hanno costituito la base di questa tesi. Gli obiettivi e le finalità dei loro progetti, non essendo indirizzate ad un utilizzo prettamente tecnico, hanno spinto i gruppi di ricerca a preferire una modalità di visualizzazione dei dati più chiara e di semplice interpretazione. All'opposto, uno degli obiettivi che hanno portato il lavoro qui presentato a svilupparsi nel modo mostrato è stata la necessità di mantenere l'aspetto numerico dei risultati. In questo, il nostro lavoro è sicuramente riuscito a mantenere le attese, anche grazie alla progettazione e definizione di uno standard per il salvataggio dei dati sin dalle prime fasi dello sviluppo.

Volendo ora discutere i risultati ottenuti grazie agli algoritmi studiati nel corso della tesi, non si può non notare come il primo algoritmo preso in esame, quello caratterizzato dall'uso dei processi di Poisson, consenta di raggiungere una buona correttezza dal punto di vista della simulazione sia temporale che delle ampiezze dei flussi di potenza. Il principale problema osservato con questo approccio è la necessità di utilizzare una funzione, o un vettore, di pesi con una adeguata risoluzione temporale, così da ridurre tutta la serie di problemi già esposti nel capitolo relativo agli algoritmi. Si sono testati anche tutti gli altri algoritmi proposti, ottenendo spesso dei risultati incoraggianti sotto il punto di vista della correttezza statistica delle simulazioni, ma con andamenti temporali simulati non del tutto confrontabili con i dati in nostro possesso.

Come si è discusso nella sezione introduttiva, potrebbe essere importante apportare le modifiche necessarie, sia al comparto degli script di simulazione che all'editor di curve di carico al fine di tener conto della divisione fra potenza attiva e reattiva, soprattutto qualora si desideri utilizzare le strategie simulative qui sviluppate per il dimensionamento di impianti di distribuzione. Tenere conto della potenza reattiva per i carichi simulati diventa un aspetto importante e quantomai utile in questo ambito. Il simulatore può essere inoltre facilmente adattato alla rappresentazione di profili separati per le due componenti

8 Conclusioni

della potenza, attiva e reattiva, consentendo di salvare anche questo tipo di informazioni all'interno del file, estendendo ulteriormente i possibili impieghi in cui questo lavoro può trovare utili applicazioni. Inoltre nel caso di studi relativi alle reti di distribuzione, è possibile utilizzare il simulatore anche per studiare il bilanciamento di carichi in una linea trifase. Infatti è possibile associare ad ogni unità abitativa l'indicazione della linea monofase alla quale è collegata, aggregando successivamente le informazioni per ottenere quelle relative alla linea trifase.

Anche una più completa implementazione della simulazione di dispositivi di storage e generazione locale è un punto su cui alcune modifiche possono essere necessarie per consentire un utilizzo adeguato. L'analisi teorica sulla possibilità di introdurre questo tipo di caratteristiche per le appliances simulate ha portato ad affermare che questa feature risulta sicuramente di interesse, ma la necessità di svolgere una validazione più estesa di quanto inizialmente considerato non ha lasciato il tempo necessario all'implementazione di questo aspetto.

Per concludere, questo lavoro è sicuramente una base su cui poter sviluppare ulteriori approcci e migliorare quelli già presentati nel corso della tesi. Gli ambiti di utilizzo di queste tecnologie sono in continua evoluzione e lo stesso deve valere per i modelli di simulazione analoghi a quelli sin qui utilizzati. Le politiche di risparmio energetico e di gestione delle risorse sono un costante sviluppo, e soluzioni come quella realizzata in questa tesi potranno in futuro essere di grande aiuto nella previsione degli effetti di tali politiche sul modo stesso in cui le persone utilizzeranno le risorse energetiche che avranno a disposizione.

Bibliography

- [1] Richardson I, Thomson M, Infield D, “Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model”, *Energy and Buildings* 42, 2010.
- [2] Widen J, Wackelgard E, “A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand”, *Applied Energy* 87, 2010.
- [3] Capasso A, Grattieri W, Lamedica R, Prudenzi A, “A bottom-up approach to residential load modelling”, *IEEE Transactions on Power Supply* Vol. 9, 1994.
- [4] Widen J, Annica M Nilsson, Wackelgard E, “A combined Markov-chain and bottom-up approach to modelling of domestic lighting demand”, *Energy and Buildings* 41, 2009.
- [5] Wright A, Firth A, “The nature of domestic electricity-loads and effects of time averaging on statistics and on-site generation calculations”, *Applied Energy* 84, 2007.
- [6] sito EERG.IT, <http://www.eerg.it/index.php>
- [7] progetto MICENE, http://www.eerg.it/index.php?p=Progetti_-_MICENE, raccolta dati a livello nazionale italiano.
- [8] progetto EL-TERTIARY, http://www.eerg.it/index.php?p=Progetti_-_EL-TERTIARY, raccolta dati sul consumo energetico nel solo settore terziario e dei servizi.
- [9] <http://www.enertech.fr/pdf/54/consommations%20usages%20electrodomestiques%20en%20> analogo al progetto MICENE, ma svolto in Svezia nel periodo 2005-2009.

Bibliography

Software

- [10] IDE per lo sviluppo di ApEd, <http://netbeans.org/>
- [11] JfreeChart, <http://www.jfree.org/jfreechart/>
- [12] MatLab, <http://www.mathworks.it/>
- [13] OpenOffice, <http://it.openoffice.org/>
- [14] LyX, <http://www.lyx.org/>

Ringraziamenti

Questo lavoro di tesi è il coronamento di tanti anni di studi, anni in cui ho ricevuto il sostegno di molte persone che mi hanno accompagnato nel cammino. Grazie al loro aiuto sono giunto a questo traguardo, e sono diventato la persona che sono oggi.

Sarà ovvio, ma il mio primo ringraziamento non può che essere rivolto ai miei genitori, Silvana e Roberto, che mi hanno sostenuto sempre, e a tutti miei famigliari.

Un doveroso ringraziamento va al prof. Narduzzi, alla prof.ssa Giorgi e al prof. Turri, per avermi dato la possibilità di lavorare a questa tesi e per il supporto costante.

Non posso non citare gli amici di Verona che mi sono stati vicini nei miei anni di studi: Adriano, Giulia, Luca, Massimo, Michele.

Ringrazio in toto il collegio Beato Claudio Granzotto, un luogo di ospitalità e di confronto continuo con gli altri. Chiedo scusa in anticipo se ho scordato qualcuno, non è mia intenzione far torto a nessuno. Un ringraziamento particolare va anche a Donatella, Mariangela, Silvia e Chiara.

Siete stati tutti dei buoni amici e spero che continuerete ad esserlo.