

Analisi dei consumi energetici
residenziali e vantaggi connessi all'utilizzo
di un manager energetico

Abstract

Quante volte ci siamo lamentati ricevendo bollette elettriche ritenute fin troppo salate? Quante volte abbiamo dovuto sopportare fastidiosissimi blackout causati dalla semplice accensione del phon nel momento sbagliato? Questi quesiti, relativamente semplici, rappresentano in realtà problematiche molto importanti in relazione al periodo in cui viviamo e quindi meritano una certa attenzione. Oggigiorno infatti il comfort è di sicuro un aspetto che riveste molta attenzione.

Un altro aspetto molto importante che attualmente ha anche valore economico è associato al consumo energetico delle abitazioni al fine di mantenere un livello di comfort accettabile. Se ci si colloca all'interno di questo discorso, ci si rende conto che il valore di un immobile varia in relazione ai soli consumi per riscaldamento/raffrescamento, senza considerare i consumi elettrici, la cui incidenza sta aumentando ed è destinata a crescere ancora, finalizzati al mantenimento del livello di comfort desiderato dall'utente.

Il discorso portato avanti in questo lavoro si pone l'obiettivo di fare luce su alcuni aspetti legati proprio al consumo di energia elettrica, principalmente in ambienti residenziali, fornendo dapprima un quadro generale sulla distribuzione dei consumi edilizi, approfondendo quindi quelli elettrici e focalizzandosi poi in maniera specifica sugli elettrodomestici di uso comune e sugli apparecchi di illuminazione.

Gli elettrodomestici, analizzati individualmente, non rendono l'idea di quanto possano essere influenti sul consumo elettrico complessivo e, spesso, per evitare il fastidio di brusche interruzioni dell'alimentazione elettrica dovute a momentanei sovraccarichi si richiede all'ente erogatore un incremento della potenza massima disponibile, con conseguente aumento delle spese.

L'illuminazione è invece il cuore dolente del settore terziario, in quanto riveste una quota significativa del fabbisogno energetico di questo settore e una mala gestione ha effetti molto importanti.

Per questo motivo, in questa trattazione viene analizzato il comportamento di alcuni tra gli elettrodomestici più comuni per proporre poi, in un contesto più ampio e collettivo, un possibile schema per gestirne in maniera ottimizzata e centralizzata il funzionamento coordinato al fine di garantire il comfort dell'utente e contenere il più possibile le spese energetiche.

Abstract (English)

How many times have we complained about getting too expensive electricity bills? How many times have we had to endure annoying blackouts caused by the simple start of the phon at the wrong time? These questions, relatively simple, are actually very important issues in relation to the period in which we live and therefore deserve some attention. Today, in fact, comfort is certainly an aspect that plays an outstanding role.

Another very important aspect that also has an economic value is currently associated with the home consumption in order to maintain an acceptable level of comfort. Referring to this speech, we realize that the value of a property varies only in relation to consumption for heating/cooling, without considering power consumption, which incidence is increasing and is set to grow further, directed to maintain the comfort level desired by the user.

This master thesis aims to shed light on some aspects connected exactly to the consumption of electricity, mainly in residential areas, providing first a general picture of the distribution of consumption in building, deepening the electric ones and then focusing specifically on appliances of common use and the lighting.

Appliances, analyzed individually, do not give an idea of how important is the role they play on the overall power consumption and, often, to avoid the discomfort of sudden power outages due to temporary overloads the request to the supplier is to increase the maximum power available, resulting in increased costs.

The lighting is instead the aching heart of the tertiary sector, because it plays a significant part of the energy needs of this sector and a poor management has very important effects.

For this reason, in this discussion is analyzed the behaviour of some of the most common household appliances to offer, in a broader and collective context, a possible scheme to manage in a centralized and optimized way their coordinated activity to ensure the comfort of user and to contain energy costs as much as possible.

Indice dei contenuti

ABSTRACT	III
ABSTRACT (ENGLISH)	IV
INDICE DEI CONTENUTI	V
INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 QUADRO ATTUALE DEI CONSUMI ENERGETICI IN EDILIZIA	3
1.1 SITUAZIONE GENERALE	3
1.2 L'EDILIZIA CIVILE	5
1.2.1 <i>Residenziale</i>	6
1.2.1.1 Energia per il riscaldamento nel settore residenziale	7
1.2.1.2 Energia elettrica nel settore residenziale.....	10
1.2.2 <i>Terziario</i>	13
1.2.2.1 Energia per il riscaldamento nel settore terziario	14
1.2.2.2 Energia elettrica nel settore terziario.....	16
CAPITOLO 2 CARATTERIZZAZIONE DEI CONSUMI DI TIPO ELETTRICO	19
2.1 CONSUMI ELETTRICI GLOBALI.....	19
2.1.1 <i>Consumi elettrici domestici</i>	20
2.1.2 <i>Consumi elettrici in ambienti del terziario</i>	23
2.1.2.1 Uffici.....	23
2.1.2.2 Scuole.....	26
2.1.2.3 Università	28
2.2 PROFILI GIORNALIERI DI ALCUNI ELETTRODOMESTICI – PROGETTO MICENE 2004	30
2.2.1 <i>Lavabiancheria</i>	31
2.2.2 <i>Lavastoviglie</i>	32
2.2.3 <i>Apparecchi per il freddo: frigocongelatori, frigoriferi, congelatori</i>	33
2.2.4 <i>Apparecchi audiovisivi</i>	35
2.2.4.1 Televisori	35
2.2.4.2 Personal computer	36
CAPITOLO 3 ALCUNI CASI PRATICI DI CONSUMI ENERGETICI EDILIZI	39
3.1 METODOLOGIA DI STIMA DEI FABBISOGNI	39
3.2 CASO 1: EDIFICIO RESIDENZIALE UNIFAMILIARE.....	41
3.3 CASO 2: EDIFICIO RESIDENZIALE PLURIFAMILIARE A	43
3.4 CASO 3: EDIFICIO RESIDENZIALE PLURIFAMILIARE B	46
3.5 CASO 4: EDIFICIO ADIBITO AD UFFICI	49
3.6 POSSIBILI INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO	51
3.6.1 <i>Villetta unifamiliare</i>	53
3.6.2 <i>Residenza plurifamiliare A</i>	54
3.6.3 <i>Residenza plurifamiliare B</i>	55
3.6.4 <i>Uffici</i>	56
3.7 OSSERVAZIONI IN MERITO ALLE POSSIBILI SOLUZIONI	59
CAPITOLO 4 LA DOMOTICA: UN INCENTIVO AL COMFORT E UNA SOLUZIONE AL PROBLEMA DEL	61
CONSUMO ENERGETICO	61
4.1 IL NUOVO CONCETTO DI “EDIFICIO INTELLIGENTE”	62
4.2 LE APPLICAZIONI IN AMBITO ENERGETICO	63
4.2.1 <i>Il controllo del benessere</i>	63
4.2.1.1 Temperatura, umidità e ricambi d'aria	64

4.2.1.2	Illuminazione.....	66
4.2.2	Il controllo dei carichi elettrici.....	68
4.2.2.1	Elettrodomestici intelligenti e prese controllate.....	70
4.2.2.2	La figura professionale dell'Energy Manager.....	71
4.3	LE APPLICAZIONI IN AMBITO NON ENERGETICO.....	72
4.3.1	Security, ovvero la protezione da intrusioni.....	72
4.3.2	Safety, ovvero la sicurezza fisica di persone e cose.....	76
4.3.3	Comunicazione e telecomunicazione.....	78
4.3.4	Funzionalità aggiuntive.....	80
CAPITOLO 5	MONITORAGGIO CARICHI ELETTRICI E ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE.....	83
5.1	IL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	83
5.2	FRIGOCONGELATORE.....	86
5.3	CONGELATORE.....	91
5.4	FORNO A MICROONDE.....	94
5.5	FORNO ELETTRICO.....	105
5.6	PIANO AD INDUZIONE.....	108
5.7	LAVABIANCHERIA.....	116
5.8	FERRO DA STIRO.....	127
5.9	LAVASTOVIGLIE.....	129
5.10	ASCIUGATRICE.....	135
5.11	TELEVISORE A TUBO CATODICO.....	139
5.12	NOTEBOOK.....	144
5.13	PHON.....	148
5.14	STAMPANTE DA UFFICIO.....	153
5.15	ILLUMINAZIONE.....	157
5.15.1	Lampade ad incandescenza ed alogene.....	158
5.15.2	Lampade fluorescenti compatte (CFL) e tubolari.....	168
5.15.3	Lampade a LED.....	173
CAPITOLO 6	PROPOSTA DI UNA LOGICA DI GESTIONE AUTOMATIZZATA DEI CARICHI ELETTRICI	
IN AMBITO DOMESTICO.....		177
6.1	VALUTAZIONI SULL'ALIMENTAZIONE ELETTRICA DEI SINGOLI APPARECCHI.....	177
6.2	DEFINIZIONE DI UN CRITERIO DI DISTACCO SELETTIVO.....	187
6.3	SIMULAZIONE DEGLI EFFETTI IN UNA SETTIMANA TIPICA DOMESTICA.....	193
CONCLUSIONI.....		215
APPENDICE A	LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA.....	219
A.1	CHE COSA È LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA.....	219
A.2	EVOLUZIONE NORMATIVA IN CAMPO ENERGETICO.....	223
A.3	PROCEDURA DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO.....	228
A.3.1	Involucro.....	229
A.3.2	Zonizzazione, carichi interni e apporti gratuiti solari.....	229
A.3.3	Fabbisogno termico dell'involucro e per la produzione di ACS.....	230
A.3.4	Fabbisogno di energia finale e primaria.....	231
A.4	METODI DI CLASSIFICAZIONE.....	232
A.4.1	Regione Lombardia.....	232
A.4.2	UNI EN 15217.....	233
A.4.3	D.M. 26/06/2009, linee guida nazionali.....	234
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....		237
INDICE DELLE FIGURE.....		239
INDICE DELLE TABELLE.....		246
RINGRAZIAMENTI.....		249

Introduzione

In un futuro non lontano, dal punto di vista prettamente strutturale gli edifici saranno realizzati nel rispetto delle più severe regole in materia di risparmio energetico passivo, e poiché i miglioramenti in questa direzione non sono illimitati (si deve tenere conto dei vincoli architettonici e dei vincoli associati alle proprietà dei materiali impiegati), i margini di intervento a livello dell'involucro andranno progressivamente riducendosi, cedendo il passo ad altre soluzioni.

In aggiunta a questo aspetto, sia gli ambienti domestici sia quelli di lavoro stanno diventando sempre più "elettrici"; non solo elettrodomestici utili ad alleggerire il lavoro quotidiano, o dispositivi in grado di gestire al meglio le condizioni ambientali (climatizzazione ed illuminazione prima di tutti), ma anche accessori per l'intrattenimento dei quali in futuro faremo fatica a fare a meno. Tutto ciò, poi, necessita inevitabilmente di un controllo centrale automatico che possa garantire una adeguata gestione in parallelo di tutto il sistema. Insomma, tra non molto ci ritroveremo a dire addio al tanto amato/odiato gas metano a favore di un approvvigionamento esclusivamente di tipo elettrico (come già avviene in diversi Stati europei come Francia, Germania, ecc.).

Di conseguenza, per indicare il consumo di un edificio non sarà più sufficiente basarsi esclusivamente sul fabbisogno energetico per il mantenimento del comfort termico, ma bisognerà cominciare a valorizzare adeguatamente anche il consumo di energia elettrica. È anche vero che ultimamente in questa direzione ci sono già stati dei progressi, includendo nella certificazione energetica edilizia un nuovo parametro legato al consumo per l'illuminazione interna, tuttavia non è ancora abbastanza; se infatti questo può andar bene per gli uffici, in cui l'illuminazione è uno dei carichi elettrici più significativi, negli ambienti residenziali l'incidenza maggiore è costituita dalle apparecchiature elettriche, il cui contributo non viene in alcun modo considerato.

L'energia elettrica ad oggi è prodotta ancora in gran parte attingendo alle risorse petrolifere (siamo attorno al 40% circa), ma può essere prodotta anche sfruttando fonti inesauribili ed assolutamente "pulite" come il vento, l'acqua e il sole. Lo sfruttamento su larga scala delle risorse rinnovabili dovrebbe portare ad una riduzione del fabbisogno energetico connesso al petrolio e alle altre fonti fossili. Infatti è prevedibile un incremento del carico elettrico al fine di aumentare il livello di comfort dell'umanità e attraverso la riduzione degli sprechi e la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili si dovrebbero ottenere vantaggi economici anche a livello individuale. Ma i vantaggi a questo punto sarebbero molteplici, poiché infatti si eviterebbe di danneggiare ulteriormente un pianeta già abbastanza maltrattato e si avrebbe anche tra le mani la soluzione per le future generazioni, che di questo passo rischiano seriamente di rimanere senza risorse energetiche a causa del rapido esaurimento dei giacimenti di petrolio e gas.

Questo lavoro è stato svolto quindi con l'intenzione di far luce sulle problematiche connesse al consumo di energia elettrica, relativamente trascurate, mettendo poi in risalto alcuni metodi che l'impiantistica edilizia mette al servizio proprio del risparmio energetico illustrando i vantaggi che ne possono derivare. Pertanto, un sistema capace di gestire razionalmente le singole utenze elettriche di un edificio rappresenta la soluzione ideale; tale sistema oggi già

conosciuto prende il nome di impianto domotico. Tuttavia, prima di trattare l'aspetto impiantistico è necessario approfondire la conoscenza degli oggetti con cui si ha a che fare, cercando di capire il loro comportamento in relazione all'assorbimento elettrico per poi valutare i metodi migliori di intervento; solo in questo modo è infatti possibile limitare i disagi all'utente finale e i danni agli apparecchi stessi. La caratterizzazione dei profili di consumo, ossia il tema centrale di questo studio, è quindi il primo passo indispensabile per poter sviluppare successivamente delle adeguate strategie di controllo e gestione che mirino al mantenimento del livello di comfort degli utenti garantendo anche prestazioni energetiche migliori.

Mettendo in atto questi provvedimenti e unendo il controllo dei consumi elettrici (illuminazione e apparecchi domestici) alle più tipiche funzioni presenti negli edifici (riscaldamento, climatizzazione estiva, ecc.) si possono conseguire risparmi di energia stimati nell'ordine del 20-30% rispetto a situazioni tradizionali in cui l'unico controllo, per altro semi-automatico, è costituito dai soli termostati.

Nelle pagine seguenti, questi argomenti vengono ripresi introducendo dapprima la situazione attuale dell'edilizia civile e illustrando poi le modalità di intervento finalizzate alla riduzione dei consumi elettrici.

Capitolo 1

Quadro attuale dei consumi energetici in edilizia

1.1 Situazione generale

A partire dagli anni della rivoluzione industriale, fino ad arrivare ai giorni d'oggi, la domanda di energia derivante dal continuo sviluppo sociale è aumentata in maniera esponenziale, come si può osservare in *Figura 1.1*.

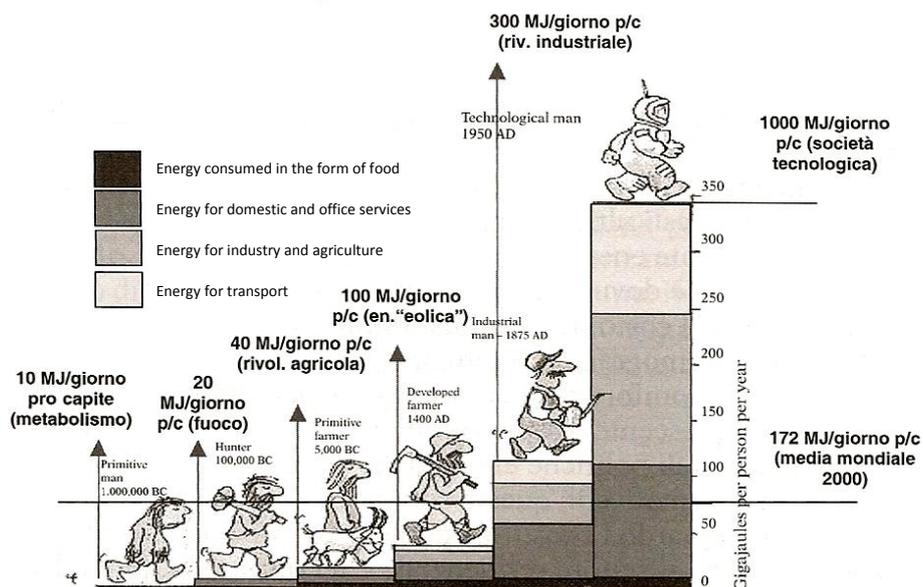


Figura 1.1 – Evoluzione del fabbisogno energetico pro-capite.

Ad oggi, il 90 per cento circa dell'approvvigionamento dell'energia mondiale proviene da fonti non rinnovabili, mentre quelle rinnovabili occupano purtroppo le posizioni finali della graduatoria di utilizzo. Il risparmio energetico in generale, dopo petrolio, carbone, gas naturale, uranio e biomasse, può essere di conseguenza visto come un "sesto carburante" e costituisce potenzialmente la maggior fonte di risparmio. Esso è economico, pulito e sostenibile, ed è ottenibile in diversi ambiti. Nell'ambito edilizio, ad esempio, mediante migliori isolamenti termici oppure attraverso l'integrazione tra nuove tecnologie termocinetiche e domotica. Questo approccio può quindi portare ad una migliore qualità dell'ambiente sia a livello di approvvigionamento di risorse sia a livello di emissioni.

La *Figura 1.2* mostra come la totalità degli interventi di efficienza energetica si possano applicare a tutti i settori: il civile (residenziale e terziario), l'industria e i trasporti. Osservando le rispettive quote si nota che l'ambito residenziale è di fatto il settore di maggiore interesse; essendo un reparto con molte lacune, infatti, si presenta come quello con il più alto margine di miglioramento in funzione degli investimenti. In questo senso risulta evidente che per poter

raggiungere soddisfacenti livelli di efficienza in questo campo, oltre ad innovazioni tecnologiche introdotte nelle nuove costruzioni è fondamentale operare sull'esistente con interventi di adeguamento e miglioramento, principalmente nei settori del residenziale e del terziario. Gli altri settori si sono mossi molto prima apportando trasformazioni meno massicce ma continue e graduali in quanto il risparmio energetico è spesso strettamente legato alla produzione.

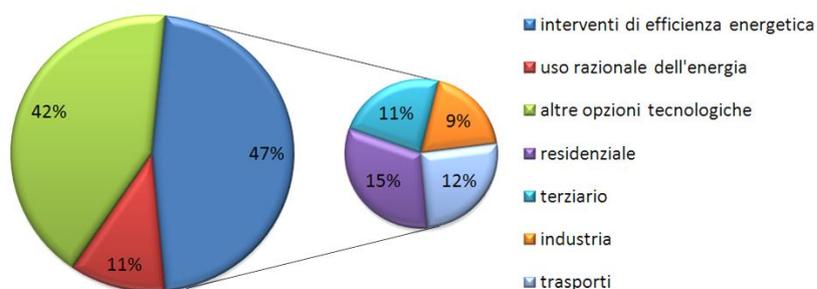


Figura 1.2 – Classificazione delle possibili soluzioni finalizzate alla riduzione di emissioni di CO₂, scenario per il 2020 (Fonte: ENEA).

Focalizzando l'attenzione sul nostro Paese, la *Figura 1.3* illustra come sia stato ripartito il consumo di energia primaria nell'arco dell'ultimo decennio. Dal diagramma si evidenzia che nel 2009, su una richiesta totale di 133,2 Mtep, le tre principali destinazioni vedono la produzione industriale al terzo gradino del podio (circa 31 Mtep), sopra di essa i trasporti (44 Mtep) e, nella quota maggiore, l'ambito del civile (48 Mtep).

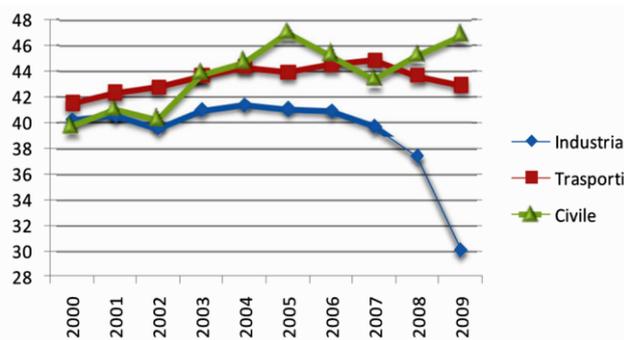


Figura 1.3 – Distribuzione dell'energia primaria utilizzata in funzione del settore d'impiego, in Mtep (Fonte: ENEA, 2009).

Da un'ulteriore analisi si può osservare che l'anno passato il calo del fabbisogno energetico industriale è stato decisamente più marcato rispetto a quello dei trasporti, ma non illudiamoci che sia la conseguenza di un atteggiamento da imprenditori "illuminati", si tratta piuttosto degli effetti dell'ondata di crisi internazionale del 2008 che ha portato ad una rapida diminuzione della produzione; in ogni caso, vale per tutti il fatto che tra il 2007 e il 2009 sono stati registrati i cambiamenti più sensibili: in questo periodo infatti vi è stata un'importante spinta legislativa, unitamente alla congiuntura economica, in ambito sia europeo sia locale sulla sensibilizzazione al risparmio energetico.

Purtroppo, nonostante ciò, il ramo edilizio civile è stato l'unico ad essere in controtendenza rispetto agli altri, presentando una crescita dei consumi anziché una diminuzione. A cosa può esse dovuto questo fenomeno? Perché solamente questo settore dimostra una cattiva condotta? Le cause potrebbero essere molteplici, ma sicuramente ha avuto un ruolo predominante la progressiva variazione del clima¹, con inverni più rigidi ed estati più calde; questo fenomeno ha conseguentemente costretto gli utenti ad un adeguamento della richiesta di gas naturale per il riscaldamento e a un incremento dell'utilizzo di energia elettrica per il raffrescamento.

1.2 L'edilizia civile

In media, in Europa, una persona trascorre circe il 90% del proprio tempo in un edificio; circa il 50% delle risorse naturali è impiegato per realizzazioni edilizie, le quali, durante il loro utilizzo, sfruttano intorno al 45% delle risorse energetiche e contribuiscono a produrre quasi la metà dei rifiuti totali. Questa breve serie di dati può bastare per far capire che il settore dell'edilizia civile acquisterà un'importanza sempre maggiore e dovrà quindi esprimere il massimo del comfort naturale col minor sovraccarico energetico e di inquinamento.

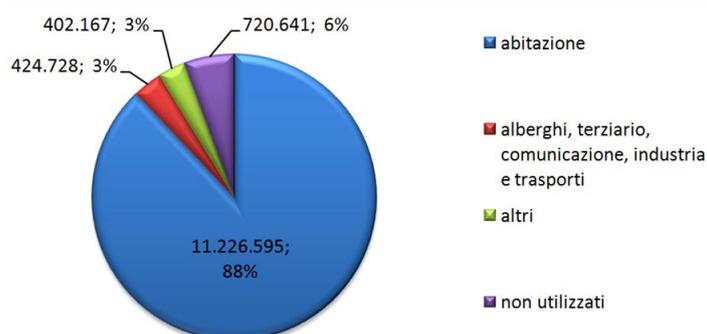


Figura 1.4 – Distribuzione degli edifici per tipologia d'uso (Fonte: censimento Istat, 2001).

I settori residenziale e terziario si presentano da sempre come un unico grande insieme in cui i consumi energetici sono in costante crescita; agli impieghi ormai consolidati come il riscaldamento, l'illuminazione e gli elettrodomestici si affiancano nuove tipologie di consumo rappresentate dagli impianti di raffrescamento, le reti di telecomunicazioni, i servizi di archiviazione dati e un crescente livello generico di intrattenimento domestico. Non si può nemmeno parlare di un ambito esclusivo, in quanto riguarda un numero di soggetti molto ampio costituito da gran parte della popolazione; tuttavia è caratterizzato da investimenti di lunga durata (coibentazione edifici, impianti di riscaldamento, ecc.) e prodotti dalla vita breve (come gli ICT², i vari accessori legati all'intrattenimento, ecc.).

Secondo una ricerca dell'ENEA, sul totale di 47 Mtep di energia primaria richiesta nel 2009 da questo settore, il gas naturale e l'elettricità rappresentano da soli l'85% del fabbisogno energetico totale. Ne deriva che questi due, fornitori dei servizi essenziali (benessere termico, illuminazione ed elettrodomestici di base), rappresentano di diritto i principali target sui quali

¹ Rapporto ENEA Energia e Ambiente 2009.

² "Information and Communication Technology", ovvero tutti quei dispositivi dotati di microprocessori ad alte prestazioni o riserve di memoria miniaturizzate, integrati negli oggetti di uso comune.

Le attuali e future politiche di intervento dovranno puntare per massimizzare i risultati finali a favore di un aumento del ricorso a fonti rinnovabili. In un edificio ben isolato e con impianti efficienti si può arrivare a spendere fino a un quarto in termini di bolletta energetica, con un risparmio significativo.

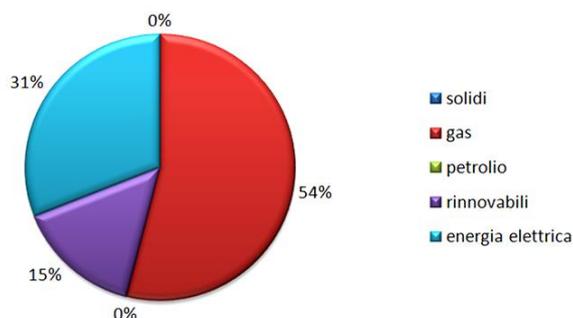


Figura 1.5 – Ripartizione dell’energia primaria richiesta in ambito civile in funzione del vettore energetico, in Mtep (Fonte: ENEA, 2009).

1.2.1 Residenziale

Le abitazioni di tipo residenziale, rappresentando oltre la metà dell’intera superficie edilizia nazionale, sono sicuramente uno dei punti più sensibili del campo delle costruzioni. Il parco edilizio italiano si può definire “vecchio” e in linea di massima molto poco efficiente, in quanto la maggior parte degli edifici risale ad anni (dal Dopoguerra agli anni Settanta) in cui vi era un alto livello di benessere e la crescita economica massiccia faceva sì che le spese per il mantenimento di un immobile non rappresentassero un grosso problema; di conseguenza, anche le tecnologie costruttive e impiantistiche (queste ultime lontane anni luce dagli standard odierni) erano tutt’altro che volte al contenimento dei consumi, privilegiando piuttosto l’estetica e la tradizione architettonica.

L’età di una costruzione diviene quindi un aspetto determinante che aiuta a capire quale può essere il suo stato di conservazione; le prestazioni infatti non sono solamente collegate al livello di degrado, ma variano sensibilmente anche in funzione delle scelte progettuali eseguite in origine come la tipologia degli impianti, le tecnologie costruttive impiegate e anche le scelte distributive (forma, orientamento, ecc.). Confrontando come già accennato gli edifici del secondo Dopoguerra con quelli di epoca più recente, si denota che nei primi vi erano molte più dispersioni termiche legate alla tecnologia dell’involucro e molti più spifferi d’aria, provocati da elementi tecnici e metodi di montaggio non eccessivamente raffinati; dopo gli anni Settanta, grazie alle innovazioni in campo edilizio, le chiusure sono diventate sempre più efficienti e meno permeabili, riducendo di fatto le dispersioni termiche (sia in inverno sia in estate) ma anche il ricambio d’aria naturale, indispensabile per mantenere un sufficiente grado di salubrità dell’ambiente.

In conseguenza a questa evoluzione, l’utilizzo di energia per il riscaldamento (e anche per il raffrescamento laddove era presente) si è ridotto drasticamente, ma dall’altro lato è progressivamente aumentato il bisogno di ricorrere all’energia elettrica per la ventilazione artificiale.

Si può quindi affermare che il consumo energetico negli edifici sta acquisendo sempre maggior peso in funzione di molteplici fattori concomitanti, quali:

- l’aumento del costo dell’energia ottenuto tramite fonti non rinnovabili;

- la massiccia crescita demografica mondiale;
- il crescente livello di comfort richiesto dagli utenti;
- l'aumento dell'utilizzo di apparecchiature elettroniche;
- la mancanza di politiche energetiche adeguate.

Esaminando la situazione un po' più nel dettaglio, ci si rende conto che i consumi finali all'interno delle abitazioni sono ampiamente vari, in conseguenza alla varietà delle abitudini di ciascun utente; ci sono famiglie più numerose di altre, con dei figli e con qualche dotazione in più come notebook ed altri apparecchi elettronici ricaricabili; ci sono situazioni in cui la propria condizione di benessere economico consente di lasciar passare qualche spreco in più o semplicemente permette maggiori condizioni di comfort rispetto a chi magari fa più fatica (ad esempio mantenere temperature interne più "generose" a discapito del consumo). Per questo motivo non è facile proporre dei dati globali rappresentativi di tutte le varie realtà, ciò nonostante è importante avere almeno un'idea di massima per capire quali siano le proporzioni approssimate della distribuzione dei consumi. La *Figura 1.6*, relativa al 2005, mostra come il ruolo dominante era rivestito dal riscaldamento dell'ambiente, seguito a ruota dall'energia per usi elettrici. Rispetto ad oggi sicuramente la situazione è cambiata, in base alle ragioni di sviluppo e ammodernamento citate in precedenza, ma la ripartizione della "torta" energetica raffigurata rimane corretta. Considerando che l'energia elettrica compare anche per un 3% circa nella fetta relativa all'acqua calda sanitaria e per un 1% complessivo tra riscaldamento e usi cucina, ecco che gli usi elettrici raggiungono quasi un quinto del totale.

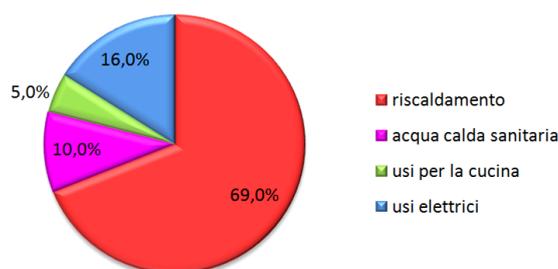


Figura 1.6 – Ripartizione dei consumi finali di energia primaria nelle abitazioni (Fonte: MSE, 2005).

1.2.1.1 Energia per il riscaldamento nel settore residenziale

Gli edifici moderni (ovvero risalenti agli ultimi venti anni), costruiti nel rispetto delle normative energetiche hanno in genere consumi³ per il riscaldamento compresi tra gli 80 e i 100 kWh/m²-anno, mentre un edificio tipico, mediamente in classe E, ha bisogno di circa 120 kWh/m²-anno; i casi più gravi poi, caratterizzati da un pessimo involucro di tipo principalmente massivo e da un impianto estremamente energivoro e inefficiente, toccano i valori di oltre 300 kWh/m²-anno.

Perché ancora oggi non si è riusciti a ridurre in maniera adeguata i consumi? Per quanto riguarda l'involucro il problema di fondo è che si ricorre a tecnologie costruttive relativamente obsolete e ancora poco efficienti, ricche di errori come ponti termici e cassonetti non adeguatamente isolati; se ci si fa caso, infatti, anche le costruzioni moderne presentano elementi di chiusura con stratigrafie molto simili al passato, ma l'unica nota di sviluppo è data dalle parziali innovazioni su alcuni materiali sostituiti con altri più efficienti o dall'aumento degli strati coibenti, ottenendo purtroppo un risultato globale non ottimale in relazione alle reali possibilità che il mercato mette a disposizione.

³ Si parla in questo caso di energia termica finale, non energia primaria.

Se consideriamo che nel 2006, per il riscaldamento dell'ambiente interno una famiglia media consumava in media circa 2000 m³ di gas metano in un anno, per un costo di circa 1200 € (su una bolletta media di circa 2800 €), ci rendiamo conto che, a fronte dello stato di fatto attuale i margini di miglioramento sono molto ampi. Ad oggi la situazione non è variata di molto, ma almeno le politiche energetiche si stanno muovendo velocemente verso una regolamentazione più rigorosa che comprende da un lato nuove norme relative agli involucri, dall'altro disposizioni in merito alla progettazione di impianti sempre più efficienti. Mentre nel primo caso si tratta a grandi linee di cambiare tipo di materiali, poiché l'involucro è un componente passivo dell'edificio (fatta eccezione per particolari tecnologie altamente innovative), l'impianto nelle sue funzioni partecipa attivamente ai consumi energetici e quindi necessita anche di un uso razionale.

Per questo motivo, oltre all'isolamento termico dell'edificio è da auspicarsi che prenda piede anche l'adozione di sistemi sempre più efficienti di generazione del calore, come le caldaie a condensazione, le pompe di calore, ecc., o il ricorso a fonti rinnovabili come la geotermia e il solar cooling, assieme ovviamente ad una crescente e lungimirante coscienza ambientale. La gestione intelligente del clima negli ambienti domestici, la riduzione degli sprechi e lo sfruttamento ottimale degli apparecchi elettrici faranno il resto, ma per questo oggi esistono sistemi automatici che ci liberano da ogni responsabilità.

Ora che è stata fatta un po' di luce sulla "questione morale" e sui consumi finali, è importante dare delle informazioni più tecniche sull'utilizzo di un impianto di riscaldamento e tradizionale, per spiegare anche con dei piccoli esempi le informazioni fornite fino ad ora.

Innanzitutto va premesso che, ad esclusione delle residenze unifamiliari, per le palazzine condominiali nonché per gli uffici pubblici vige l'obbligo di mantenere in funzione l'impianto di riscaldamento per un periodo massimo che va dal 15 ottobre al 15 aprile. Sotto queste premesse un esempio può essere utile per capire quale può essere il profilo medio di utilizzo e in che condizioni di esercizio lo stesso impianto può trovarsi.

Si riporta l'esempio di un appartamento di circa 85 m² facente parte di una palazzina residenziale.

Si definisce prima di tutto uno schema di utilizzo generico dell'abitazione in funzione del tempo, prendendo come riferimento un nucleo composto da tre persone, due genitori entrambi con impieghi fuori città e con orari lavorativi standard e un figlio adolescente. In conseguenza a questi orari si stabilisce un funzionamento dell'impianto tale da mantenere le condizioni di comfort, ovvero 20°C, nelle ore di occupazione ed evitare che l'appartamento si raffreddi esageratamente nei periodi in cui non è utilizzato.

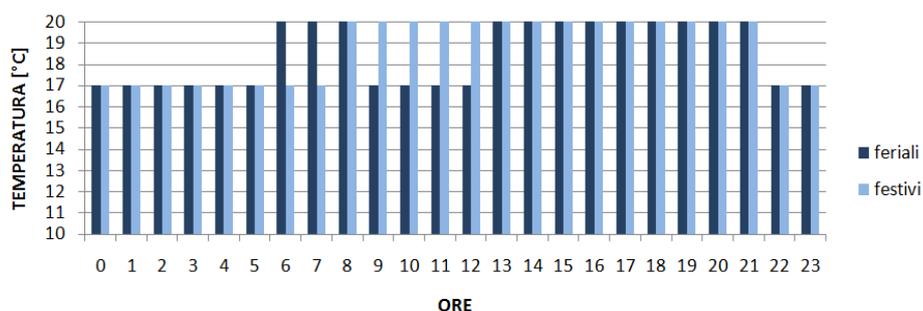


Figura 1.7 – Schema orario di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

Impostando il controllo della temperatura interna con una tolleranza di $\pm 0,5$ °C rispetto alla temperatura di set-point, con questo profilo di progetto, nella stagione invernale si ha che l'andamento delle temperature per un giorno feriale è simile a quello riportato in *Figura 1.8*. Una cosa che potrebbe saltare all'occhio è che l'impostazione oraria della temperatura di progetto e quella di funzionamento dell'impianto non corrispondono, ma questi due termini non hanno lo stesso significato; infatti, per mantenere la temperatura entro i limiti impostati è necessario che il riscaldamento parta un'ora prima (regime transitorio) ma è anche sufficiente che stacchi un'ora in anticipo rispetto gli orari previsti per il cambio di temperatura, grazie all'effetto di accumulo energetico dell'involucro che mitiga lo scambio termico verso l'esterno.

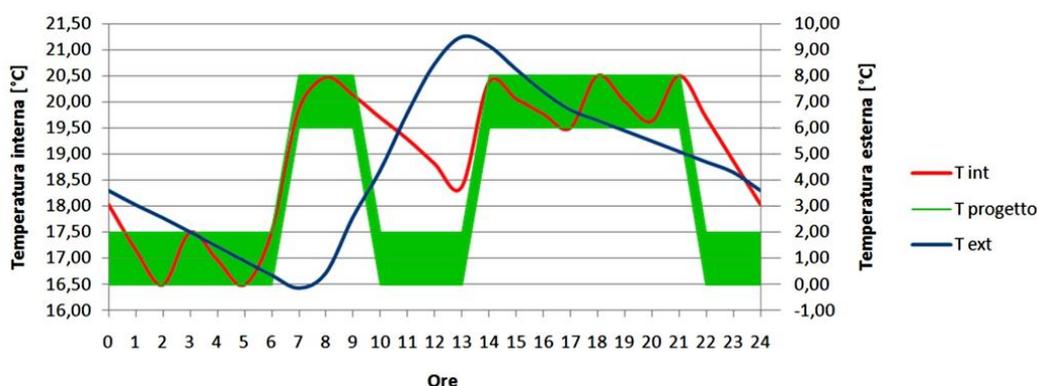


Figura 1.8 – Esempio di andamento delle temperature in un giorno feriale invernale.

Per capire effettivamente quanto si consuma, è utile conoscere quando e in che modo effettivamente l'impianto entra in azione pompando nella rete il fluido termovettore (si è ipotizzato un classico impianto a radiatori, con una caldaia tradizionale ma con alto rendimento, per un rendimento globale $\eta_{GL}=0,85$). Trascurando l'energia assorbita dagli apparecchi elettrici ausiliari, il mantenimento delle condizioni termiche precedentemente definite comporta una distribuzione della potenza giornaliera come visualizzato in *Figura 1.9*.

Estendendo la simulazione all'intero periodo di riscaldamento (184 giorni all'anno) e facendo riferimento alla metratura dell'appartamento in esame (85 m^2), ne deriva un consumo di energia primaria di quasi $80 \text{ kWh/m}^2\text{-anno}$.⁴ Questo esempio rappresenta tuttavia una gestione già più coscienziosa, che solo di recente sta cominciando a prendere piede grazie anche all'installazione di cronotermostati più moderni con almeno due settaggi differenti; nella più tradizionale impostazione a temperatura costante da mattina a sera, in caso di edifici moderni (rispetto all'età, non necessariamente alle tecnologie impiegate) il consumo sarebbe circa una volta e mezza più alto.

⁴ Il risultato è stato determinato moltiplicando per l'intero periodo i valori del giorno feriale medio con le condizioni esterne peggiori; può quindi essere considerato attendibile in quanto questa ipotesi conservativa compensa sia il fatto che nei restanti giorni le condizioni esterne migliorano progressivamente avvicinandosi alle stagioni adiacenti, sia il fatto che il riscaldamento nei giorni festivi (che sono molti di meno) funziona per più ore.

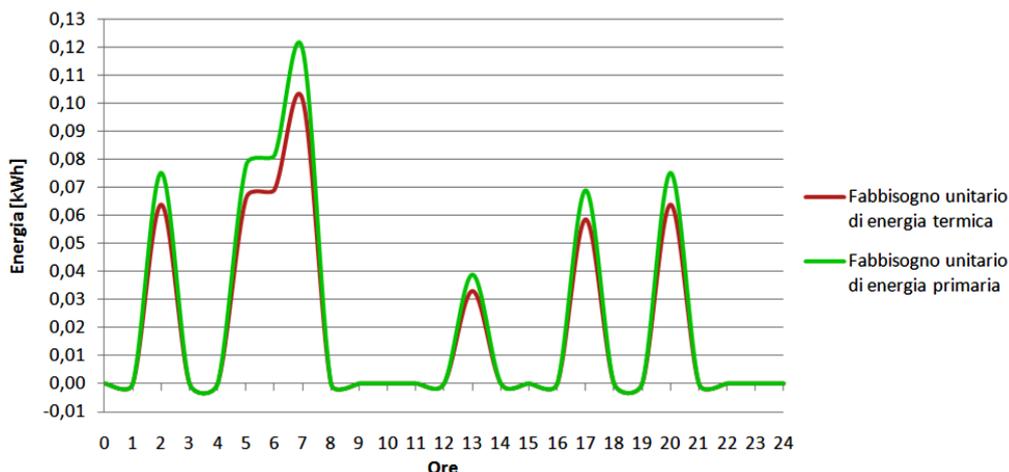


Figura 1.9 – Esempio di andamento giornaliero dell’energia richiesta per il riscaldamento in caso di doppia impostazione della temperatura interna.

1.2.1.2 Energia elettrica nel settore residenziale

Andando avanti col tempo le abitazioni diventeranno sempre più “elettriche”, grazie al crescente utilizzo nella vita di tutti i giorni di oggetti tecnologici per migliorare il quotidiano oppure per svago e divertimento; sul mercato esistono già dispositivi più o meno complessi che grazie alle moderne tecnologie informatiche riescono a rendere quasi reali le atmosfere e i personaggi dei videogiochi, oppure i sistemi e gli accessori per l’*home entertainment*. Va considerato però che tutti questi apparecchi elettrici devono coesistere in un unico ambiente, in maniera ordinata e senza interferenze, e ciò è possibile solamente con una attenta gestione.

A causa di questi ed altri fattori, l’impianto elettrico nelle abitazioni moderne sta acquisendo sempre maggiore importanza; esso, in futuro, non sarà più semplicemente finalizzato all’accensione e allo spegnimento delle luci, ma dovrà soddisfare ulteriori nuove esigenze come ad esempio il risparmio energetico possibile.

Secondo il Gruppo Terna S.p.A., operatore di reti per la trasmissione dell’energia elettrica, nel 2009 la richiesta totale di energia elettrica in Italia è stata di circa 300.000 GWh, con una netta e prevedibile maggioranza degli usi industriali (oltre 130.000 GWh); a non molta distanza si collocano gli uffici e il terziario in generale, con circa 95.000 GWh, seguiti dal settore domestico che ha fatto domanda della bellezza di circa 70.000 GWh, ovvero il 23% del totale (con un aumento di un punto e mezzo rispetto al 2008).

Da questi dati emerge che il settore residenziale si fa carico di oltre un quinto della domanda complessiva di energia elettrica; se si considera poi che oggi in una famiglia media gli sprechi, particolarmente nell’illuminazione, “rubano” una parte non trascurabile dell’energia richiesta (ambienti lasciati illuminati anche se non occupati, oppure eccessivamente illuminati rispetto alle reali esigenze a causa della non regolabilità del flusso luminoso), è evidente che questo si conferma un settore cruciale su cui intervenire in maniera radicale attraverso una forte incentivazione delle nuove tecnologie finalizzate al monitoraggio e al corretto utilizzo dei carichi elettrici.

Per dare un’idea del modo in cui l’energia elettrica viene ripartita tra le possibili utenze presenti tra le mura domestiche ci viene in soccorso uno studio del gruppo eERG del Politecnico di Milano, denominato “Progetto MICENE”, conclusosi nel 2004.

La campagna di misura, svolta tra il 2000 e il 2002, ha permesso di raccogliere una serie di dati utili alla descrizione dei consumi elettrici di una famiglia tipo oltre alle abitudini medie dell'utenza stessa. Va specificato che, per motivi di praticità dell'indagine, la maggior parte (più della metà) del campione era sita in Lombardia.

Sinteticamente, dall'analisi è emerso che praticamente tutte le abitazioni hanno un contratto di fornitura con potenza impegnata di 3 kW, con nuclei familiari diversamente numerosi ma composti per la maggior parte da 3 e da 4 persone. A partire dai consumi monitorati per alcuni periodi significativi dell'anno sono stati stimati i consumi annui delle abitazioni considerate. La variabilità è ampia (da un minimo di 1100 kWh/anno a un massimo di 9000 kWh/anno) con una media di circa 3229 kWh/anno. Se si considera che la superficie netta media delle abitazioni era di 106 m², ne risulta un consumo medio unitario di circa 31 kWh/m²anno con il picco di richiesta energetica che va dall'ora di cena a quando si va a dormire⁵. Durante questo periodo i carichi principali sono risultati essere l'illuminazione e la lavastoviglie, che sommati tra loro raggiungono circa due terzi della potenza massima richiesta (Figura 1.12).

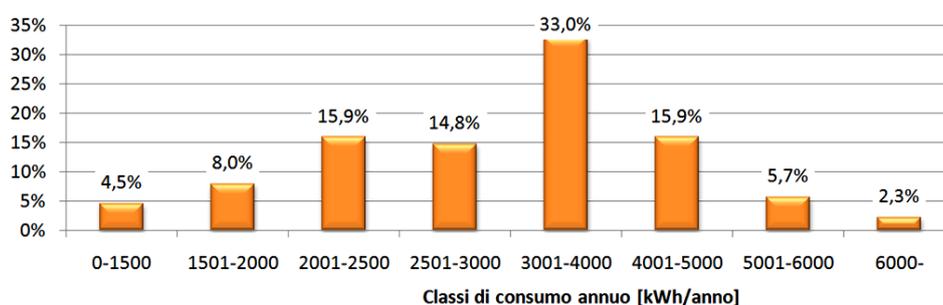


Figura 1.10 – Distribuzione in classi di consumo annuale, assoluto, del campione monitorato (Progetto MICENE, 2004).

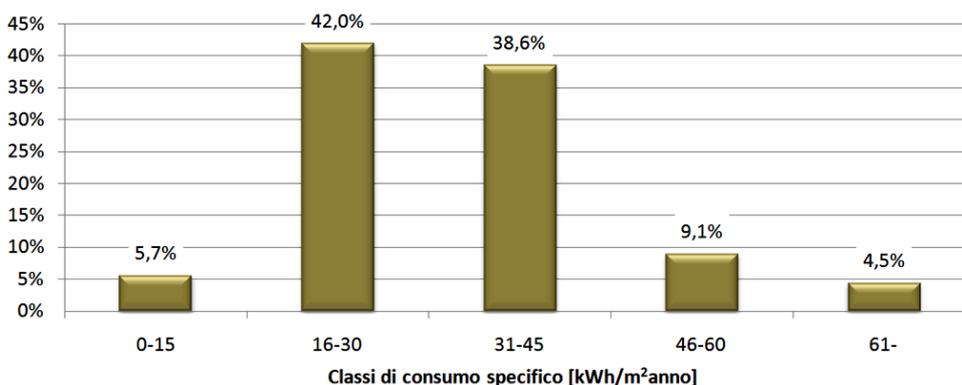


Figura 1.11 – Distribuzione in classi di consumo annuale, rapportate a un metro quadrato, del campione monitorato (Progetto MICENE, 2004).

Quest'ultima considerazione ci deve far supporre che un intervento di controllo e gestione limitato anche solo a questi tre ambiti, sia attraverso un utilizzo più responsabile da parte nostra sia con sistemi automatici, può già contribuire ad un sensibile risparmio, aiutando a minimizzare il rapporto investimento/guadagno.

⁵ Da un più recente studio del Gruppo Terna S.p.A. del 2009, i momenti di massima richiesta si trovano in inverno nelle fasce orarie 9-12 e 17-21, mentre in estate nelle fasce 9-12 e 19-23.

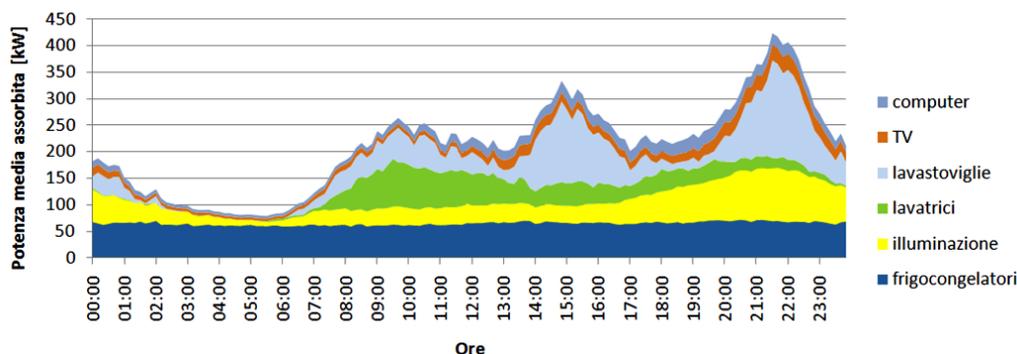


Figura 1.12 – Consumo orario medio nazionale (Progetto MICENE, 2004).

Tuttavia, per capire meglio in che modo poter utilizzare i frutti dell’indagine è importante introdurre una distinzione sostanziale tra “consumi dell’abitazione media” e i “consumi dell’apparecchio medio”, poiché essi forniscono informazioni nettamente differenti. Ad esempio, le lavastoviglie hanno consumi unitari più elevati delle lavabiancheria, ma essendo meno diffuse pesano di meno sulla media complessiva. A fronte di ciò, un’analisi dell’abitazione media è utile per una pianificazione generale di massima, nel momento in cui si desiderasse valutare gli effetti a livello nazionale di azioni su un certo tipo di elettrodomestico, non solo in termini di riduzione dei consumi complessivi, ma anche di riduzione dei consumi medi nelle diverse ore. L’analisi sul singolo apparecchio è invece utile per la stima dei consumi dell’utilizzatore finale.

Anche se nel capitolo successivo verranno approfonditi nel dettaglio gli aspetti connessi ai singoli apparecchi, nella Figura 1.13 sono riportati i principali usi elettrici residenziali e la quota di energia elettrica che ognuno di essi copre in funzione del consumo totale annuo; nel grafico non è stata riportata la climatizzazione degli ambienti.

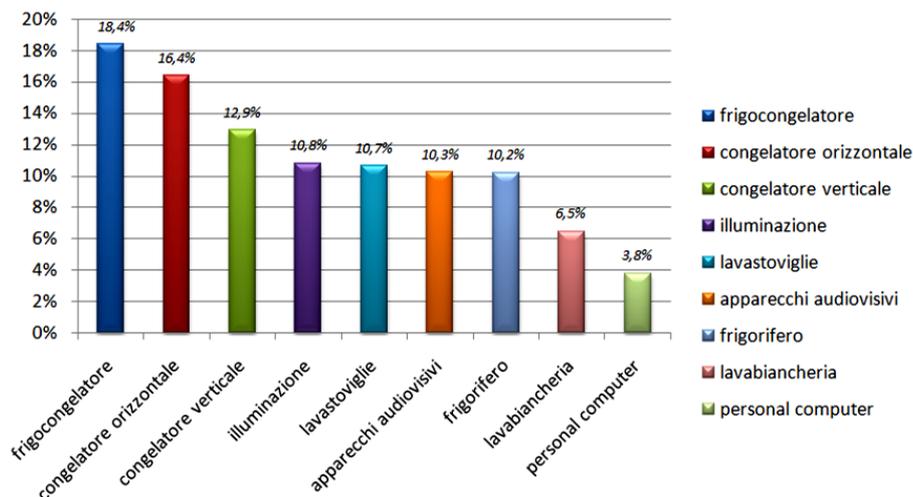


Figura 1.13 – Consumi finali di energia elettrica nelle abitazioni (Progetto MICENE, 2004).

Nel caso riportato, per quanto riguarda gli apparecchi per il freddo, non tutte le famiglie, ma comunque più della metà, sono dotate di un frigocongelatore, mentre il frigorifero e il congelatore separati sono presenti in meno di due casi su dieci; questo vuol dire che i consumi di questi apparecchi sulla totalità delle famiglie rappresentano una percentuale di consumo

inferiore rispetto a quella reale della singola famiglia; sull'illuminazione va invece detto che quasi il 90% delle lampadine installate sono del vecchio tipo ad incandescenza, mentre solo la restante frazione è costituita da moderne sorgenti fluorescenti compatte (CFL), il che vuol dire che solamente sostituendo le lampadine obsolete con altre a basso consumo si avrebbe una diminuzione dei consumi di oltre due terzi.

1.2.2 Terziario

La conoscenza della composizione e delle caratteristiche energetiche del parco edilizio nazionale per usi non residenziali è, allo stato attuale, molto incerta. Connotato da una composizione (edilizia, impiantistica e di destinazione d'uso) molto eterogenea, questo reparto attualmente presenta una scarsità di dati sulla consistenza e qualità del parco immobiliare e molte lacune sulla conoscenza degli aspetti gestionali e manutentivi. Anche dopo l'ultimo censimento nazionale del 2001, prodotto dall'ISTAT, i dati a disposizione in questo senso sono molto scarsi, soprattutto per quanto riguarda i dati energetici. Un aiuto in più viene fornito da uno studio del CRESME del 2007, che si è occupato di raccogliere una serie di informazioni relativamente alle scuole e agli edifici per uffici pubblici.

Per quanto riguarda gli uffici, questa ricerca ha preso in considerazione solo gli edifici completamente occupati da enti riconducibili alla Pubblica Amministrazione, escludendo quindi tutte le attività simili ma localizzate in altre unità immobiliari non totalmente di proprietà pubblica. Per questo motivo va precisato che questi dati servono esclusivamente a dare un'idea delle proporzioni e dell'ordine di grandezza del problema.

Dell'intero campione esaminato, rispetto al numero di edifici la maggior parte (70%) era occupata da servizi della Pubblica Amministrazione, il 15% erano scuole (ad esclusione delle università), e la restante parte era suddivisa tra ospedali ed altri servizi. In relazione alla superficie commerciale, anche qui la PA deteneva il possesso di oltre il 70% degli immobili, mentre un 20% circa era equamente ripartito tra istruzione e sanità. Successivamente, per ciascuna tipologia edilizia sono stati calcolati i consumi (per climatizzazione, ACS e illuminazione), prendendo a riferimento l'edificio tipo e moltiplicandone il valore ottenuto per la corrispondente consistenza numerica.

Tuttavia, durante l'indagine, non è stata esaminata la quota relativa ai consumi elettrici degli apparati da ufficio (personal computer, stampanti, ecc.) e dei sistemi di sollevamento (ascensori e montacarichi), limitando il campo d'azione esclusivamente all'illuminazione artificiale. In ogni caso, a seguito di alcune analisi effettuate di recente dall'ENEA su alcuni edifici direzionali, si può approssimare il peso di questa porzione a circa un terzo del fabbisogno elettrico totale.

Dallo studio è emerso che la distribuzione dei consumi di energia primaria in questo settore e limitati agli edifici pubblici si attestano attualmente a circa 2,2 Mtep (circa il 4,7% delle 47 Mtep totali nazionali), destinati prevalentemente agli edifici ad uso scolastico e solo in parte agli uffici veri e propri. Per quanto riguarda l'uso finale, aggiungendo allo studio del CRESME la quota stimata dall'ENEA per le apparecchiature e per la movimentazione si ricava che la quota maggiore di consumo non spetta al riscaldamento degli ambienti bensì all'energia elettrica (*Figura 1.14 e Tabella 1.1*). Questo conferma quello che abbiamo dall'inizio sostenuto, ovvero che l'elettrificazione del ramo civile delle costruzioni, sulla scia dell'esempio industriale, rappresenta un aspetto molto importante da non sottovalutare assolutamente.

Per la corretta lettura dei dati va precisato che, secondo le disposizioni contenute nel D.M. 26-6-09 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", mentre per gli edifici residenziali l'unità di misura del fabbisogno energetico è il "kWh/m²", per le altre

tipologie si usa il “kWh/m³”; infatti, a causa della non uniformità delle altezze nette interne tra i vari edifici rientranti in queste categorie, qualora ci si riferisse all’unità di superficie sarebbe impossibile effettuare un confronto omogeneo di dati.

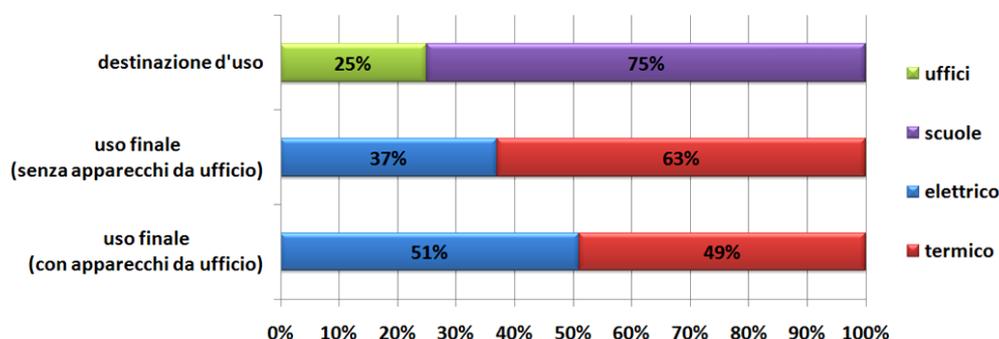


Figura 1.14 – Ripartizione dei consumi di energia primaria nel settore terziario pubblico (Fonte: ENEA, 2009).

SCUOLE		UFFICI		
Riscaldamento e ACS	Illuminazione	Riscaldamento e ACS	Raffrescamento	Illuminazione
30,9	11,8	24,8	17,2	31,7
42,7		73,7		

Tabella 1.1 Consumi attuali di energia primaria nel settore terziario pubblico, in kWh/m³anno, escludendo gli apparati da ufficio (Fonte: CRESME).

1.2.2.1 Energia per il riscaldamento nel settore terziario

Diversamente da quanto può valere per le residenze, il riscaldamento nel caso degli uffici occupa una parte molto minore rispetto all’utilizzo dell’energia elettrica poiché le attrezzature come computer, stampanti, ecc. sono notevolmente più numerose. Ciononostante esso può rappresentare una altrettanto corposa origine di sprechi e consumi eccessivi per diversi motivi, già a partire dalla struttura fisica dell’impianto stesso. È riscontrato infatti che la gran parte del parco uffici, nonostante la progressiva evoluzione dagli anni ’70 al 2000, è dotata di impianti con prestazioni non proprio soddisfacenti se confrontate con quelle richieste dalle normative vigenti, sia in quanto ad approvvigionamento dell’energia necessaria (sono ancora troppo pochi i casi in cui si ricorre a fonti rinnovabili), sia riguardo all’emissione in ambiente dell’energia termica e dell’aria di rinnovo. Nei primi anni del secolo scorso, l’introduzione di aria esterna era affidata principalmente ai radiatori, mentre col passare dei decenni si sono fatte strada altre soluzioni migliori come i fancoil e i termoconvettori, decisamente più adatti. Anche i criteri di regolazione della temperatura hanno fatto dei passi avanti: se pensiamo che quarant’anni fa la differenza tra chi gestiva la regolazione per ogni stanza, chi per ogni piano e chi non la gestiva affatto era tutto sommato minima, oggi ci solleviamo un poco la coscienza vedendo che comunque il bombardamento di informazioni sul cambiamento del clima, sull’esaurimento del petrolio eccetera hanno dato qualche frutto: più o meno la metà degli edifici costruiti dopo il 1991 hanno una regolazione diversa per ogni locale climatizzato, uno su tre ce l’ha per ogni piano del fabbricato e fortunatamente solo uno su dieci ne è del tutto sprovvisto.

Oltre alle proprietà della rete e alle prestazioni proprie dell’impianto in sé (che tra l’altro sono variabili da zona a zona in funzione del clima contestuale) è purtroppo molto frequente

riscontrare anche cattive abitudini di utilizzo, e questo accade particolarmente per gli uffici pubblici dove i controlli sono molto limitati; infatti, a prescindere dalle caratteristiche costruttive che accomunano gli edifici della stessa età, la differenza è rappresentata dall'uso che poi effettivamente se ne fa. Se in un appartamento tendenzialmente si regola la temperatura d'inverno non oltre i 20 °C (limite contenuto nella legge 10/91), negli uffici pubblici è tutt'altro che raro percepire temperature che superano abbondantemente questa soglia.

Questa diffusa pratica di mantenere gli ambienti eccessivamente caldi provoca uno spreco di energia e di conseguenza di denaro. Se pensiamo che il consumo energetico aumenta di circa il 7% per ogni grado ci rendiamo conto delle proporzioni che assume il fenomeno.

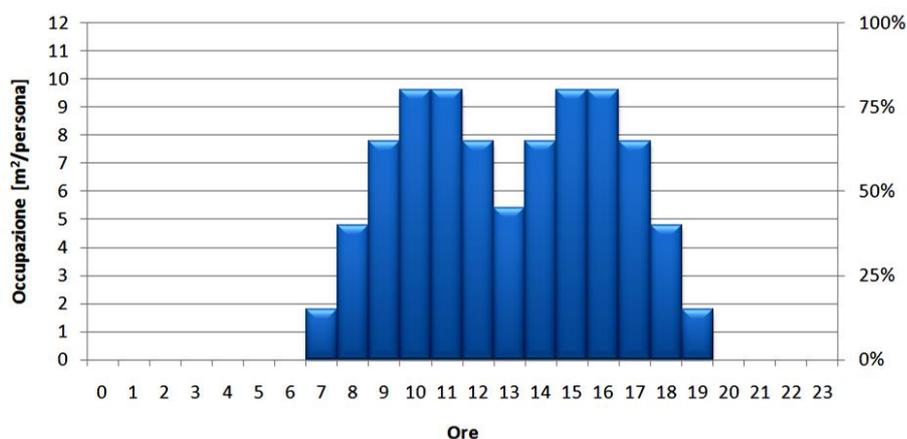


Figura 1.15 – Livello di occupazione medio degli uffici nei giorni feriali rispetto ad un affollamento standard di 12 m²/persona (Fonte: ENEA, 2009).

Un ulteriore accorgimento sarebbe di regolare, come negli appartamenti, temperature di set-point diverse in base ai periodi di occupazione; abbassare di qualche frazione di grado il limite da mantenere in quei periodi in cui gli spazi di lavoro vengono abbandonati dal personale, come ad esempio durante la pausa pranzo; ciò avrebbe un impatto molto significativo sul consumo netto senza tuttavia creare condizioni di disagio e di malessere.

A valle di questo discorso prettamente comportamentale è indispensabile ricordare che anche in questo settore, come nell'edilizia residenziale, sono sicuramente necessari ulteriori interventi migliorativi di tipo tecnico e tecnologico sia sulla "scatola edificio" sia sugli impianti; il raggiungimento dei necessari requisiti di efficienza energetica, partendo da una situazione attuale che vede in media un fabbisogno⁶ di circa 84 kWh/m²anno (riferito all'intero territorio nazionale, ma per quanto riguarda la fascia climatica della Lombardia, ovvero la E, si sale fino a 105 kWh/m²anno), può essere ottenuto percorrendo molteplici strade: realizzando laddove fosse possibile un cappotto sulle pareti e riparando eventuali ponti termici, sostituendo i serramenti con altri più prestanti, controllando ed integrando l'isolamento delle tubazioni idriche, privilegiando un'alimentazione tramite teleriscaldamento rispetto a soluzioni autonome oppure dotandosi di impianti a fonti rinnovabili. Anche in questo caso, a questi esempi si può aggiungere la gestione automatizzata del clima interno tramite un impianto di Building Automation, che permette di regolare i flussi energetici limitandoli esclusivamente alle situazioni in cui essi sono necessari, riducendo al minimo gli sprechi involontari.

⁶ Fonte: ENEA, caratterizzazione dei consumi energetici nazionali delle strutture ad uso ufficio (2009).

1.2.2.2 Energia elettrica nel settore terziario

Il consumo di energia elettrica, per quanto riguarda il terziario in generale, rappresenta la porzione più consistente (vedi *Figura 1.14*) di un settore che si fa già da solo carico di quasi un terzo⁷ della richiesta complessiva nazionale; questo è un buon motivo che ci dovrebbe spingere ad intervenire in questo senso, sia per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, sia per quanto riguarda le apparecchiature di cui questi spazi sono dotati, alimentando un percorso di risparmio energetico e salvaguardia dell'ambiente che ci riguarda sempre più da vicino in questo periodo di crisi economica e di esaurimento delle fonti non rinnovabili.

Nel momento in cui si volessero quantificare e classificare i consumi elettrici, si verrebbero a creare delle difficoltà in quanto un campo differenziato come questo presenta una grande molteplicità di situazioni e di esigenze; ne deriva di conseguenza che anche gli impianti presentano una grande varietà di potenza installata e quindi di energia assorbita. I principali carichi di natura elettrica presenti negli uffici possono essere così elencati:

- apparecchi da ufficio (PC, stampanti, fotocopiatrici, FAX, ecc.);
- mezzi di sollevamento e trasporto (ascensori, montacarichi, scale mobili);
- impianti di illuminazione interni ed esterni;
- impianti di condizionamento e ventilazione;
- impianti tecnologici.

In aggiunta a queste dotazioni standard si possono poi trovare altre utenze come sale server, sale conferenze con attrezzature informatiche, mense o comunque tutti quei servizi i cui assorbimenti differiscono di molto da quelli standard citati, ma per una stima coerente e valida per tutta la categoria è opportuno scorporarli dai consumi totali. L'impianto di condizionamento, nonostante la sua natura di fabbisogno termico, compare tra gli assorbimenti elettrici standard in quanto alimentato interamente a corrente elettrica (sia le macchine frigorifere sia tutti gli ausiliari).

Come viene facile pensare, in maniera analoga al riscaldamento anche i consumi per il condizionamento variano in funzione della zona climatica; inoltre, la variabilità dei risultati in questa tipologia di utilizzo è ulteriormente influenzata da parametri poco prevedibili e non standardizzabili come gli orari e le abitudini di lavoro.

Da una ricerca effettuata l'anno scorso su tutto il territorio nazionale è emerso che in media il fabbisogno elettrico si aggira intorno ai 120 kWh/m²anno, scendendo a quota 90 kWh/m²anno nelle località in zona climatica E (come la Lombardia). La distribuzione dei consumi in relazione alla localizzazione sottolinea il peso che gli impianti di condizionamento rappresentano sulla bolletta energetica di uno stabile (*Figura 1.16*).

Tuttavia, per come si intende un ambiente di questo tipo, ovvero un ambiente di lavoro come ad esempio la sede di un'azienda, è più sensato accostare l'entità dell'attività al numero di impiegati che vi lavorano all'interno piuttosto che alla semplice superficie occupata. Pare quindi opportuno relazionare anche il consumo non solo alla superficie ma anche al numero di addetti, che per utilizzi "da scrivania" come il personal computer diventa decisamente più significativo.

⁷ Gruppo Terna S.p.A., statistiche sui consumi energetici dell'anno 2009.

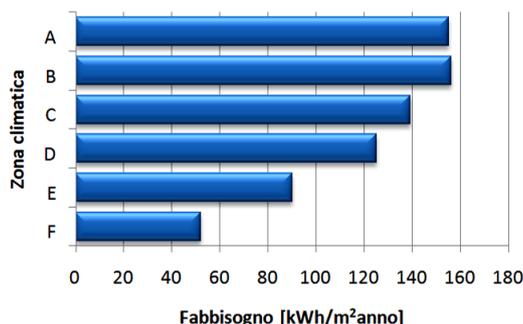


Figura 1.16 – Indici di consumo elettrico per zona climatica (Fonte: ENEA, 2009).

A questo proposito, nella *Tabella 1.2* è riportato in che modo il contributo di ogni carico può essere associato alla superficie e all'organico lavorativo, in modo da poter facilitare successive stime a riguardo di questo tema. I numeri in essa contenuti, opportunamente trasformati da percentuale a frazione decimale, rappresentano i valori degli indici da utilizzare nella formula illustrata più avanti.

UTILIZZATORE	QUOTA DIPENDENTE DALLA SUPERFICIE [%]	QUOTA DIPENDENTE DAL NUMERO DI ADDETTI [%]
Apparecchi da ufficio	5	95
Sollevamento e trasporto	70	30
Illuminazione interna/esterna	80	20
Condizionamento/ventilazione	80	20
Impianti tecnologici	100	0

Tabella 1.2 – Ripartizione degli assorbimenti elettrici in quota dipendente dalla superficie e quota dipendente dal numero di addetti.

Nonostante siano ancora provvisori, esistono degli indicatori numerici parziali relativi ai due parametri menzionati che consentiranno, una volta affinati e suggellati da ulteriori indagini statistiche, di esprimere il consumo totale di energia elettrica e di poter fare delle stime ancora più realistiche. Il prototipo di relazione che l'ENEA ci fornisce è il seguente:

$$E_{TOT} = I_{sup} \cdot S + I_{add} \cdot n_{add} \quad [1]$$

dove:

- E_{TOT} è l'energia elettrica assorbita;
- I_{sup} è l'indicatore riferito alla superficie (attualmente è stimato a 80 kWh/m²anno medi nazionali);
- S è la superficie complessiva dell'edificio;
- I_{add} è l'indicatore riferito al numero di addetti (stimato a 3000 kWh/anno per ogni addetto);
- n_{add} è il numero di addetti impiegati nell'edificio.

Un trattamento di riguardo lo meriterebbe in ogni caso l'illuminazione artificiale. Questa branca, in particolare per quanto riguarda gli uffici, rappresenta la quota maggiore di consumo elettrico tra tutti i settori; anche se le singole sorgenti installate hanno potenze inferiori a quasi tutte le altre utenze, il loro vasto numero fa sì che l'impianto di illuminazione, a discapito di altre installazioni di gran lunga più potenti come ad esempio gli ascensori, si prenda una fetta

dei consumi totali che va dal 20 al 40%. Appare dunque evidente che gli uffici, essendo tra l'altro il settore con il maggiore consumo per l'illuminazione, sono l'ambito ideale per lo sviluppo e la diffusione dei dispositivi di controllo della luce artificiale orientati al risparmio energetico e di tutte le altre strategie per il miglioramento del rendimento generale dell'impianto.

Capitolo 2

Caratterizzazione dei consumi di tipo elettrico

In questo capitolo verranno approfonditi gli aspetti connessi all'utilizzo dell'energia elettrica in quanto fonte di alimentazione di servizi diventati irrinunciabili nella società moderna quali l'illuminazione, il funzionamento degli elettrodomestici, la climatizzazione estiva e a volte, in funzione del tipo di impianto, anche del riscaldamento invernale. Per quanto riguarda l'aspetto termico, mentre nel periodo estivo la maggior parte degli apparecchi sono elettrici, per regolare il comfort invernale la scelta ricade sulla classica caldaia a metano oppure su soluzioni più moderne come le pompe di calore. In ogni caso vi è sempre la presenza di elementi ausiliari come pompe di circolazione, elettrovalvole e termostati che necessariamente devono essere collegati alla rete elettrica.

Relativamente al consumo connesso agli elettrodomestici, per il momento verranno messi in luce esclusivamente gli aspetti legati ai servizi offerti, ovvero si cercherà di mostrare quale sia qualitativamente e su scala globale il fabbisogno elettrico destinato al loro funzionamento, senza entrare nel dettaglio dei consumi specifici (tema che verrà invece approfondito nei capitoli successivi).

2.1 Consumi elettrici globali

Nel capitolo precedente sono stati analizzati i consumi generici degli edifici adibiti alle principali destinazioni d'uso; in quel frangente è stata fatta una prima distinzione a carattere generale tra i consumi di tipo elettrico e quelli da attribuire alle necessità di benessere termico. Ora verrà analizzato il primo di questi due aspetti, esplorando più a fondo e in maniera più precisa la modalità di prelievo del carico elettrico ripartito tra i diversi apparecchi.

Ogni ambiente edilizio, sia esso un'abitazione, un ufficio o una fabbrica, è pensato per essere occupato in modo differente da persone, le quali hanno determinate abitudini e stili di vita/lavoro variabili in funzione dell'attività svolta e necessitano quindi di condizioni ambientali tali da rendere la loro permanenza il più confortevole possibile. Per questo motivo esistono svariati sistemi artificiali capaci di intervenire su parecchi aspetti del comfort; alcuni regolano la temperatura dell'aria, altri la luminosità dell'ambiente, altri ancora servono a garantire un certo livello di sicurezza sia alle persone (rilevatori di gas, ecc.) sia ai beni materiali (impianti antifurto). Oltre a queste prestazioni standard vanno ovviamente aggiunti quei componenti necessari allo svolgimento dell'attività propria del luogo, che in maniera più generica possibile definiamo "macchine elettriche".

Ad ogni modo, proprio per il fatto che ogni destinazione d'uso implica un impiego differente degli ambienti ad essa dedicati, anche l'utilizzo dei servizi varia in maniera considerevole; se una residenza è il luogo in cui si passa tendenzialmente la maggior parte della vita, e quindi richiede un determinato livello di comfort e comodità, questo certamente non si può dire ad esempio per una ditta meccanica, all'interno della quale, specialmente laddove si concentrano

i macchinari e l'attività produttiva, l'attenzione si focalizza principalmente sulla sicurezza dei dipendenti e dei mezzi in maniera decisamente maggiore rispetto ad un appartamento, scendendo invece a compromessi maggiori in fatto di comodità superflue. Per questi e altri motivi legati anche alla periodicità con cui gli ambienti vengono occupati, la caratterizzazione dei consumi diventa ampiamente varia tra le varie destinazioni.

Limitatamente alle residenze e agli edifici di attività legate al terziario, verrà presentato il modo in cui viene distribuito il consumo medio di energia elettrica di una giornata tipo e in funzione del periodo dell'anno.

2.1.1 Consumi elettrici domestici

Il modo in cui un'abitazione viene occupata varia principalmente in funzione degli impegni lavorativi o di studio degli inquilini che la abitano, in quanto l'orario di queste attività è vincolante rispetto al tempo libero; in ogni caso esistono dei comportamenti comuni a tutti e definiti dall'orologio biologico ed altri invece che possono essere mediati statisticamente senza comprometterne in maniera grave il significato.

Come è vero che non tutti fanno lo stesso lavoro, e soprattutto non tutti lavorano, è sensato pensare che ognuno di noi si svegli la mattina, pranzi intorno al mezzogiorno, la sera si fermi per la cena e a una certa ora vada a dormire. Se aggiungiamo la variabilità delle occupazioni, per la quale ci sarà sempre una certa porzione di cittadini che possono rientrare a casa propria per pranzo o cena, si può quindi considerare l'occupazione media di un appartamento come massima la notte, la mattina fino a colazione, a pranzo e a cena, e invece minore nei periodi rimanenti, con delle variazioni tra i giorni feriali e quelli festivi (in cui l'assenza da casa è inferiore). Sotto queste ipotesi si può proseguire illustrando l'andamento tipico del consumo elettrico domestico.

Per il momento, non volendo anticipare i dati relativi ad ogni singolo utilizzo (che sarà oggetto di un'analisi approfondita nei capitoli successivi), si può pensare di fare una distinzione tra linea luce e altre linee, considerando inoltre in maniera separata l'alimentazione dell'impianto di climatizzazione estiva, il quale rappresenta un carico di una certa importanza e con caratteristiche differenti dal resto.

Dai tre grafici seguenti (Figura 2.1, Figura 2.2 e Figura 2.3), frutto di un'analisi a campione su circa 1000 abitazioni sparse sul territorio, è possibile capire quale sia la distribuzione media giornaliera dei consumi residenziali, differenziando tra giorni festivi e feriali nelle tre stagioni (fredda, media e calda) per poter meglio confrontare le differenze.

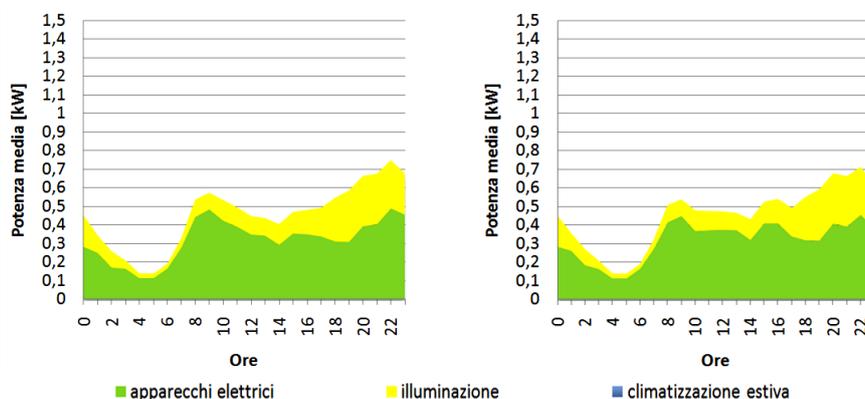


Figura 2.1 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di un'abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

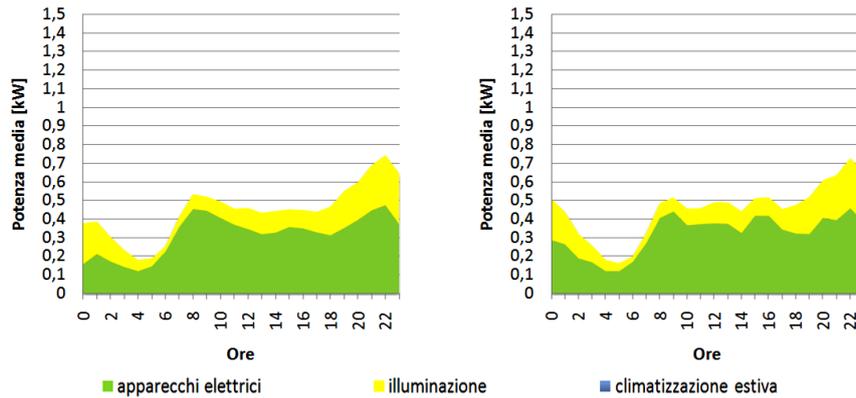


Figura 2.2 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di un’abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

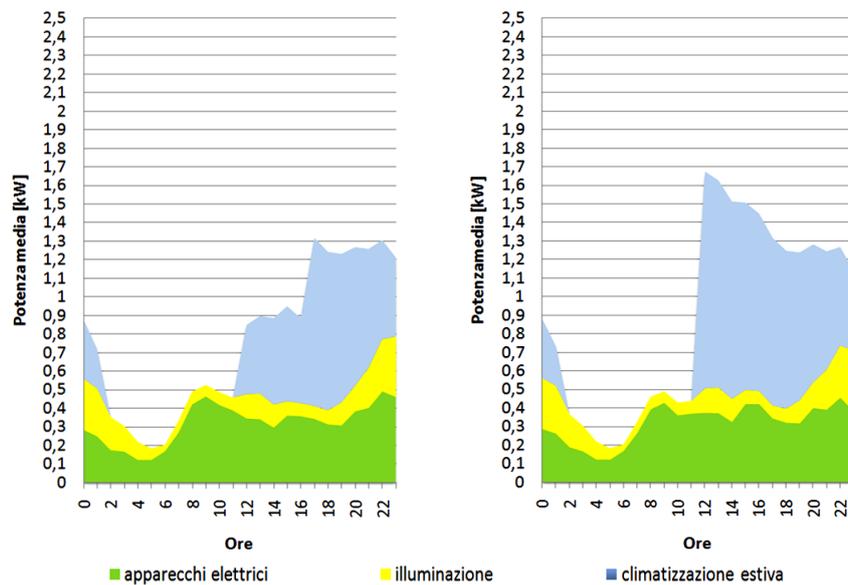


Figura 2.3 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di un’abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

Analizzando i vari contributi in maniera separata si può dire che tendenzialmente la luce artificiale viene utilizzata maggiormente la sera e nelle ore notturne, con in alcuni casi anche la fascia a cavallo a cavallo di mezzogiorno (presumibilmente per aumentare la luminosità nella zona di pranzo). Sotto questo aspetto non si riscontra alcuna differenza tra un giorno festivo e un giorno feriale, mentre a livello stagionale, come si può immaginare, il profilo di illuminazione è a grandi linee simile ma sfasato di qualche ora. Il periodo di maggiore utilizzo, rilevato alla sera, in inverno è più prolungato e va dalle 18 circa fino a quasi mezzanotte, mentre nelle stagioni medie inizia verso le 19-20 e in estate un’altra ora dopo, per durare in questi ultimi due casi fino alle primissime ore della notte; questo perché, con le giornate brevi e le temperature rigide dell’inverno, in settimana è più frequente rimanere al caldo in casa piuttosto che farsi un giro in compagnia, limitando le uscite per lo più al weekend. Il discorso cambia poi in primavera e in autunno, fino ad arrivare all’estate che, con le sue giornate e serate generose, concede maggiori periodi di permanenza fuori casa, circoscrivendo l’uso della luce interna solo alle ore serali.

Gli utilizzi di tipo generico si presentano invece più o meno costanti con un livello maggiore nelle ore diurne e minore in quelle notturne, senza particolari differenze tra le varie stagioni; di giorno, infatti, poiché è il momento in cui si concentra l'attività delle persone, vi è logicamente un maggiore utilizzo delle apparecchiature, basti pensare agli elettrodomestici usati in cucina, al televisore corredato di tutti gli accessori, il personal computer per lo studio o semplicemente per lo svago, gli utilizzatori presenti in bagno (rasoio elettrico, phon, ecc.) e tanti altri oggetti che ci accompagnano durante la giornata. Questa ampia varietà di soluzioni e di combinazioni fa sì che, se spalmata su un campione di una certa consistenza, il valore medio del consumo demandato agli usi generici segua un andamento poco variabile, con le solite eccezioni per i periodi a cavallo dei pasti, in cui si ha un tendenziale aumento dell'affollamento delle abitazioni; per questo tipo di consumo, l'unica differenza che si riscontra tra un giorno feriale e uno tipico festivo sta nel fatto che nel secondo il consumo medio pomeridiano aumenta leggermente a sfavore di quello di picco registrato a cavallo di pranzo, poiché le potenze impiegate non sono più concentrate in poche ore ma spalmate su un periodo più lungo. Di notte, invece, si ha un calo dei consumi dovuto al fatto che le persone vanno a riposarsi; in queste ore infatti funzionano solamente quegli apparecchi a ciclo continuo come frigoriferi e congelatori, a cui si aggiungono spesso lavatrici e lavastoviglie che eseguono cicli di lavaggio ritardati per risparmiare sul costo dell'energia; tuttavia, in conseguenza alla sempre maggiore diffusione della banda larga e degli abbonamenti ADSL "tutto incluso" relativamente economici, vanno considerati anche i computer connessi a internet perfino nelle ore di buio per scaricare materiale tramite i numerosi software che sfruttano il peer-to-peer.

Discorso a parte è la climatizzazione (esclusivamente estiva, poiché quella invernale è ancora fortemente legata al gas metano), vincolata in primo luogo dalle condizioni dell'ambiente esterno e successivamente, ma purtroppo non sempre, dall'affollamento interno dei locali. È evidente infatti che questo tipo di impianto deve intervenire laddove vengano a mancare le condizioni di benessere termico e igrometrico degli ambienti controllati, e quindi è ovvio pensare che, in estate, questo equivalga alle ore calde del giorno. Per questo motivo, come si evince dalla *Figura 2.3*, è facilmente comprensibile che esso entri in azione a partire dalle ore centrali con un significativo e rapido aumento del carico elettrico, il quale poi va a calare progressivamente verso sera quando l'irraggiamento solare è minore; in questo caso, però, la differenza tra i giorni feriali e quelli festivi è apprezzabile. Nei giorni feriali, infatti, poiché a mezzogiorno è ancora orario di lavoro l'abitazione non è completamente occupata, quindi nelle prime ore di funzionamento la temperatura sarà ragionevolmente impostata a valori cosiddetti "di mantenimento", diversi da quelli definiti per una piena occupazione per non sprecare energia. Dall'orario di rientro dal lavoro fino a sera, invece, l'impostazione del termostato cambia e le condizioni di comfort diventano più selettive, andando ad incrementare repentinamente il consumo energetico dell'impianto. In un giorno festivo, questa distinzione non esiste e fin da subito l'impianto deve fornire le condizioni ottimali.

Dando un'occhiata infine ai consumi complessivi partendo dai dati esposti, partendo dai profili di carico mostrati e differenziando i dati sia in base alla stagione sia tra giorni feriali/festivi⁸, si è ottenuto che, in media, nell'arco di un anno un'abitazione dotata di impianto di climatizzazione estiva arriva a consumare all'incirca 4.900 kWh/anno, scendendo a circa 3.900 kWh/anno in assenza di impianto (valore che rimane in linea con i dati forniti dal Progetto MICENE). Per quanto riguarda il consumo dedicato all'illuminazione artificiale, in entrambi i casi esso consiste in poco più di 1.300 kWh/anno.

⁸ La stima considera in maniera approssimativa totale di circa 60gg festivi, determinati da calendario e senza considerare eventuali ferie lavorative, spalmati in maniera uguale sulle quattro stagioni.

2.1.2 Consumi elettrici in ambienti del terziario

Per quanto riguarda questo settore, invece, gli orari sono decisamente più rigorosi rispetto al residenziale, in conseguenza del fatto che nell'ambiente lavorativo esiste una reale regolarizzazione dei turni indicata da precisi orario di inizio e fine attività, nonché da altrettanto precisi periodi di pausa in cui il personale (o parte di esso se i periodi di pausa non sono uguali per tutti) abbandona la postazione di lavoro.

Come anticipato nelle righe introduttive, sono molteplici le attività comprese nella parola "terziario", quindi è difficile e poco utile generalizzarne i comportamenti in un unico profilo. Per questi motivi risulta opportuno suddividere l'intero campo in più sottocategorie omogenee. Un'ulteriore segmentazione è stata fatta considerando separatamente i giorni prefestivi (come il sabato o i giorni in cui si lavora mezza giornata) da quelli festivi, in aggiunta ovviamente a quelli feriali. Trattare anche i giorni festivi potrebbe sembrare fuori luogo, in quanto la parola stessa implica che l'ambiente non è occupato, tuttavia è indispensabile ricordare che anche in questi periodi assorbono una certa (e non proprio trascurabile) quantità di energia demandata al funzionamento degli impianti di sicurezza, al mantenimento di un minimo di illuminazione interna e al funzionamento di apparecchiature quali FAX, UPS e server che non possono assolutamente rimanere spenti; inoltre va ricordato che alcune attività non si fermano neppure nei giorni di festa. Tutto questo non vale invece per le abitazioni, le quali ad esempio nei periodi di vacanza o di assenza prolungata azzerano praticamente i propri consumi (fatta eccezione per il telefono o i frigoriferi e i congelatori che, se pieni, necessariamente rimangono attivi).

Ecco quindi che una corretta analisi dei consumi deve avere molte sfaccettature, poiché le possibilità di risparmio si nascondono ovunque ed anche un piccolo intervento può portare a risultati finali rilevanti.

2.1.2.1 Uffici

Gli uffici sono solitamente occupati in orario che va dalle prime ore del mattino fino anche alle 20 e solitamente presentano la pausa pranzo verso mezzogiorno; alcune attività poi praticano degli orari ridotti nei giorni prefestivi o nel primo giorno di lavoro successivo alla festa. Ne deriva che, nonostante vi siano degli apparecchi in funzione anche nei periodi di non occupazione dell'ambiente, nel momento in cui avviene l'ingresso dei dipendenti il carico complessivo tende ad aumentare rapidamente in base al fatto che cambiano le impostazioni per la regolazione del clima, aumentano i carichi termici, si accendono le varie postazioni PC con le relative periferiche annesse e soprattutto si attiva l'illuminazione artificiale, la quale rappresenta uno dei maggiori consumi elettrici del settore.

I carichi elettrici in questo caso sono quindi rappresentati principalmente dall'illuminazione (circa il 40% nel periodo invernale) e dall'impianto di climatizzazione (oltre il 60% in estate). Quest'ultimo, infatti, è costituito da una serie di macchine tra cui le più rilevanti sono senza dubbio le UTA (Unità di Trattamento dell'Aria) e i gruppi frigoriferi (*chiller*, utilizzati solo in estate), che hanno potenze dell'ordine delle centinaia di kW. Questi ed altri contributi vanno a incrementare il consumo globale, che segue un andamento in genere simile ai vari profili riportati qui di seguito (*Figura 2.4, Figura 2.5, Figura 2.6*), relativi a un campione di uffici di dimensioni medio-grandi.

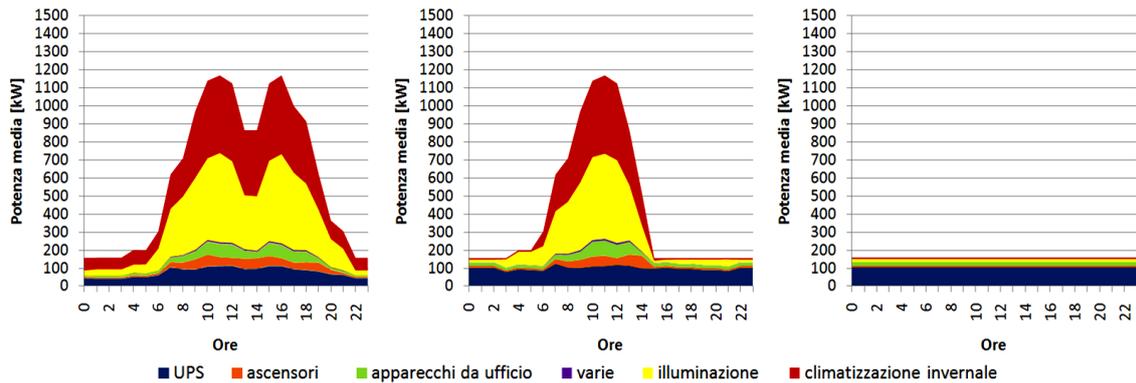


Figura 2.4 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno ferial, uno prefestivo e uno festivo.

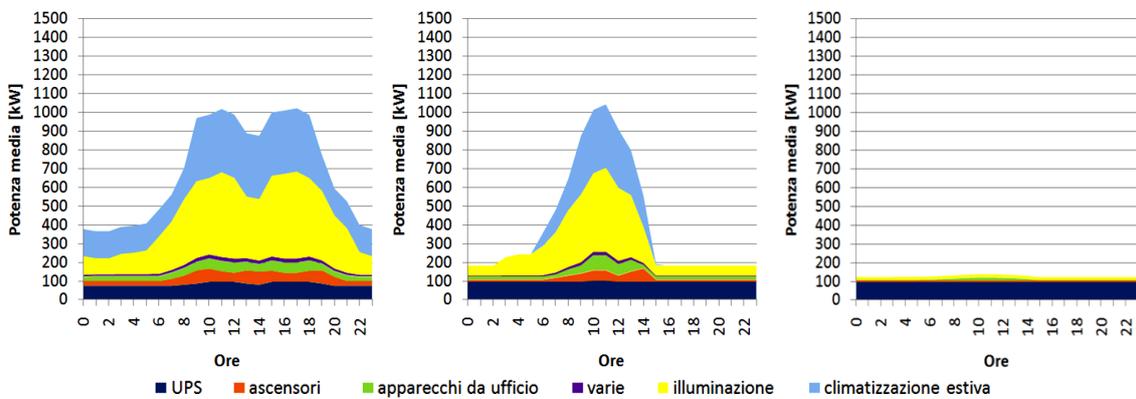


Figura 2.5 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno ferial, uno prefestivo e uno festivo.

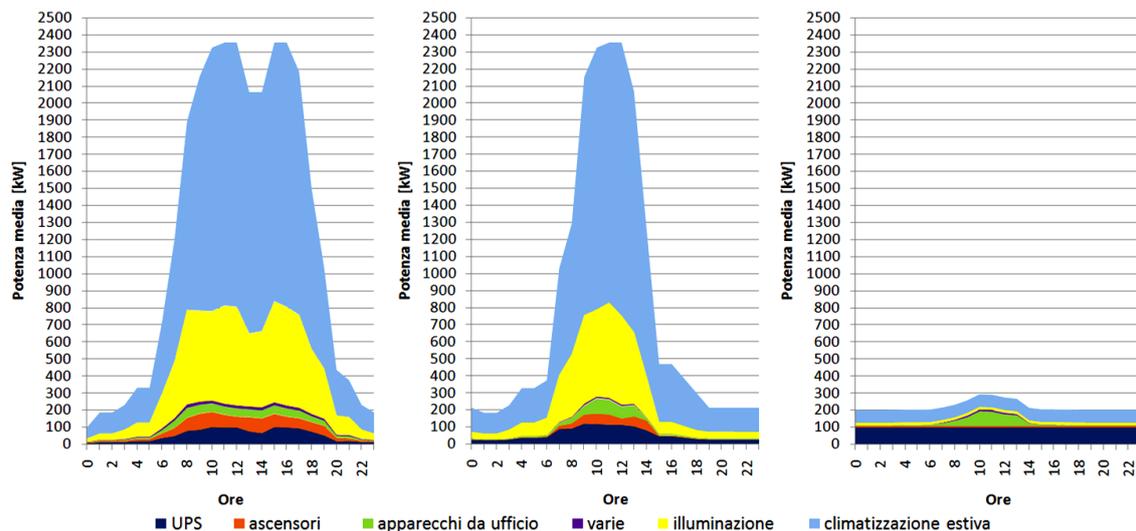


Figura 2.6 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno ferial, uno prefestivo e uno festivo.

In inverno (*Figura 2.4*), quando l'impianto di climatizzazione entra in funzione, in media si ha che una minima energia è destinata ad alimentare i compressori (5%), mentre l'80% del consumo è da attribuirsi alle UTA, che nei periodi di carico massimo raggiungono le massime

potenze ma si spengono a fine turno; la caldaia che produce l'acqua calda per le batterie di pre e post-riscaldamento, invece, ha un consumo nettamente inferiore (però non di tipo elettrico) ma funziona al minimo anche di notte. Come si può vedere, l'interno dei locali rimane parzialmente illuminato anche fuori dall'orario di lavoro, per poi crescere progressivamente nelle prime ore di attività e rimanere costante (salvo nella pausa pranzo, in cui cala leggermente) fino alla chiusura del turno. Come prevedibile, l'illuminazione degli spazi esterni interviene esclusivamente alla mattina e alla sera, sempre, per favorire la visibilità delle zone prossime all'edificio quando la luce solare non è sufficiente (ed è utile anche per dissuadere da eventuali atti vandalici). Per gli ascensori non sprechiamo troppe parole, è evidente infatti che nei periodi in cui non si usufruisce dell'ambiente essi rimangono inattivi e il loro uso, legato implicitamente agli spostamenti, si concentra per lo più a inizio e fine giornata e nella pausa di mezzogiorno. Vi sono poi le apparecchiature da ufficio, costituite come detto dai computer, stampanti, FAX, ecc. che rappresentano i veri e propri strumenti di lavoro e che quindi necessariamente vengono usati in maniera continuativa all'interno dell'intero periodo di occupazione; il loro consumo, nonostante le potenze unitarie inferiori alle altre tipologie, diventa consistente se riferito alla quantità, infatti ogni dipendente dispone di una postazione, e se si considera che approssimativamente un PC medio assorbe circa 300 W (anche di più se si tratta di mezzi ad alte prestazioni, usati magari per lavori di grafica) si fa presto a raggiungere qualche decina di kW con poco più di un centinaio di impiegati. Inoltre non bisogna dimenticare che a supporto dei computer, in situazioni in cui improvvise interruzioni dell'alimentazione causerebbero il loro spegnimento con conseguente perdita di dati, vengono installati un certo numero di UPS (Uninterruptible Power Supply), ovvero dei gruppi di continuità in grado di garantire per un periodo definito l'approvvigionamento di corrente elettrica alle utenze. Questi, anche se non utilizzati, richiedono comunque una alimentazione e quindi un consumo, continuativo praticamente costante nelle 24 ore, proporzionato alla potenza installata⁹. Infine, la voce "varie" sta ad indicare quei piccoli assorbimenti occasionali oppure quelli connessi agli impianti a bassa tensione (videocitofonia, safety e security, ecc.) e tiene conto anche delle perdite di potenza sulla rete, attestabili in maniera fissa a circa lo 0,8% del totale.

Passando all'estate (*Figura 2.6*), l'andamento dei consumi non legati alla climatizzazione è pressoché uguale, in quanto l'uso che si fa delle postazioni di lavoro, degli ascensori e anche dell'illuminazione interna è indipendente dal clima esterno; spesso, purtroppo, si vedono infatti locali illuminati e con le veneziane abbassate per evitare l'abbagliamento dall'esterno, inoltre senza degli opportuni sistemi di regolazione del flusso luminoso, le luci sono o spente o completamente accese. In ogni caso, la voce grossa la fa ancora l'impianto di climatizzazione, e particolarmente nella stagione calda rappresenta una importante fetta del fabbisogno elettrico complessivo. Se da una parte quindi l'energia termica in ingresso raggiunge già da sola dei valori notevoli (fatta eccezione per quei casi in cui si regolano gli apporti solari con schermature o vetri selettivi), dall'altra vanno aggiunte le lampade accese e tutti gli accessori elettrici utilizzati all'interno dei locali, i quali producono anch'essi una non trascurabile quantità di calore che va ad incrementare ulteriormente il carico termico che l'impianto dovrà smaltire.

Confrontando i due casi stagionali estremi si può apprezzare la notevole differenza di potenza impiegata in base al clima esterno: in estate infatti il consumo massimo è circa quattro volte tanto rispetto a quello invernale, a causa del sostanzioso assorbimento dei gruppi frigoriferi; ne consegue che un'adeguata regolazione dei consumi in questo ramo, con una

⁹ Solitamente risulta sufficiente scegliere una UPS pari a circa il 70% della potenza complessiva collegata.

gestione più puntuale delle temperature ed un'impostazione meno generica delle condizioni interne, porterebbe a consistenti risparmi in termini sia di consumi (e quindi economici) sia di emissioni in ambiente.

Questo discorso, fatto per un tipico giorno ferialo, vale in parte anche per quei periodi in cui l'ufficio è utilizzato solo per mezza giornata; osservando i tre grafici precedenti si può notare infatti che l'unica differenza sta nel fatto che in una giornata prefestiva manca la seconda metà del profilo di consumo, mentre in orario di attività l'andamento è identico. Tuttavia, per quanto riguarda il raffrescamento estivo è interessante approfondire in che modo si ripartisce il carico elettrico generale tra i diversi componenti dell'impianto (Figura 2.7).

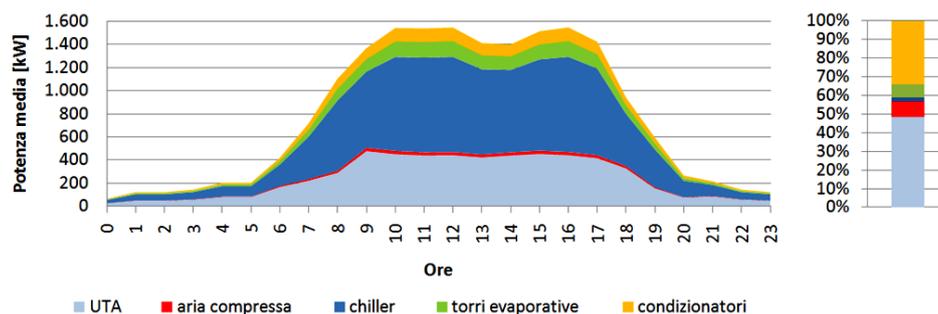


Figura 2.7 – Consumo elettrico giornaliero per la climatizzazione di un ufficio in un tipico giorno ferialo.

In un ciclo di trattamento completo dell'aria, con raffrescamento e deumidificazione, la maggior parte della potenza elettrica impiegata (in media quasi il 50) è assorbita dai gruppi frigoriferi, seguiti a ruota dalle UTA (30-40%); questi due rappresentano infatti i componenti che effettivamente compiono più lavoro rispetto agli altri. La parte restante di energia, al netto della minima parte spesa per la ventilazione forzata (aria compressa), è ripartita in maniera quasi eguale tra le torri evaporative e i condizionatori. Il carico assorbito dalle prime è molto ridotto in quanto la loro funzione è semplicemente quella di pompare l'acqua calda, in arrivo dai chiller, attraverso dei nebulizzatori e far girare lentamente delle ventole per creare delle lievi correnti d'aria, il tutto con lo scopo di rimandare ai chiller il fluido vettore a una temperatura inferiore. I condizionatori, invece, rappresentano una piccola parte del consumo totale non in relazione ai ridotti consumi unitari, i quali sono tutt'altro che trascurabili, ma in base al fatto che in un impianto di climatizzazione a tutt'aria (come è di fatto un impianto realizzato con questi componenti, ed anche quello più diffuso nei grandi ambienti), il carico termico di progetto è affidato per la maggior parte all'aria primaria (UTA), dimensionando i condizionatori (i classici *fancoil*) solo per una piccola parte integrativa del carico sensibile.

2.1.2.2 Scuole

Le scuole, similmente agli uffici, hanno anch'esse degli orari ben precisi di utilizzo: solitamente le lezioni iniziano verso le 8 del mattino fino circa alle 13, con eventualmente un paio di rientri pomeridiani di durata variabile (2 o 3 ore al massimo). Tuttavia il funzionamento del complesso scolastico rimane attivo in maniera continuativa da mattina a sera e si protrae da circa metà settembre a circa metà giugno, rimanendo chiuso per parte del periodo estivo (le attività interne proseguono sempre un po' oltre la fine delle lezioni e riprendono un po' prima) e in occasione delle festività.

A fronte di ciò consegue che il profilo di carico di un istituto scolastico, comprendente le elementari fino alle secondarie superiori, può presentarsi grosso modo come linearmente crescente fino all'ora di inizio lezioni (l'attivazione avviene con un certo anticipo per poter

avere le condizioni di comfort desiderate), poi piuttosto costante fino alla fine delle stesse per poi decrescere ancora in maniera lineare fino a un livello di mantenimento costante (stand-by).

Per rendersi conto di quanta energia elettrica possa essere richiesta da un complesso edilizio di questo tipo basta pensare a tutte le funzioni che esso deve svolgere. Innanzitutto esiste una parte di gestione costituita da computer, un server centrale attivo 24 ore su 24, stampanti, un centralino telefonico, ecc.; poi, in portineria o nei corridoi saranno presenti delle macchine automatiche per le bevande calde (caffè, the, ecc.) o per le bibite fresche; è spesso presente anche un servizio mensa più o meno complesso oppure un piccolo bar, i quali hanno consumi specifici e decisamente non trascurabili. Oltre a questi ci sono poi i servizi didattici propri del settore, ovvero i laboratori completi di attrezzature per le materie sperimentali (informatica, biologia, chimica, fisica) e i locali adibiti a fotocopie e stampe; vanno infine considerati l'impianto di illuminazione e gli impianti dedicati alla sicurezza, ovvero l'antifurto, l'antincendio e la rivelazione fumi e gas.

Le proporzioni della distribuzione giornaliera del consumo di elettricità sono riportate nelle figure seguenti (Figura 2.8, Figura 2.9, Figura 2.10), in cui viene fatta una separazione tra il fabbisogno elettrico destinato all'illuminazione e la restante parte per mettere in risalto la quota sul totale che essa richiede, vale a dire ben oltre la metà. Per lo stesso motivo evidenziato nel caso degli uffici, anche in questo caso l'illuminazione (interna ed esterna) viene mantenuta a una certa soglia minima anche durante i periodi di chiusura delle lezioni, mentre altri utilizzi elettrici come certi impianti o i computer adibiti a server devono necessariamente rimanere attivi per garantire il monitoraggio e l'archiviazione dei dati.

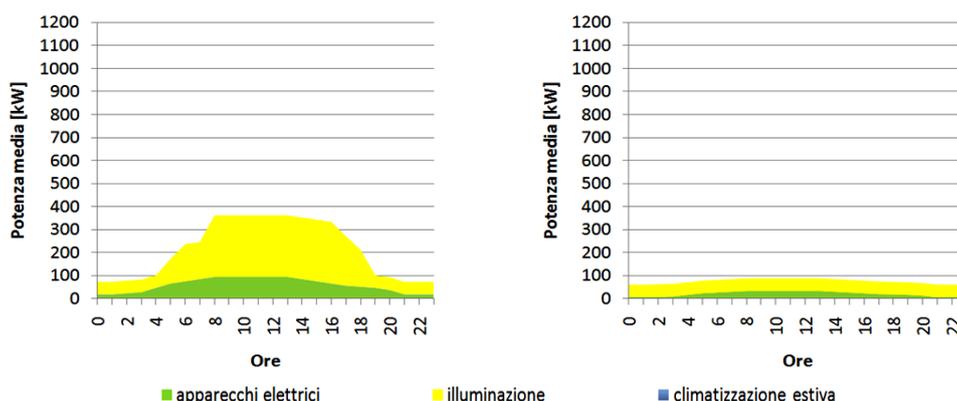


Figura 2.8 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di una scuola in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

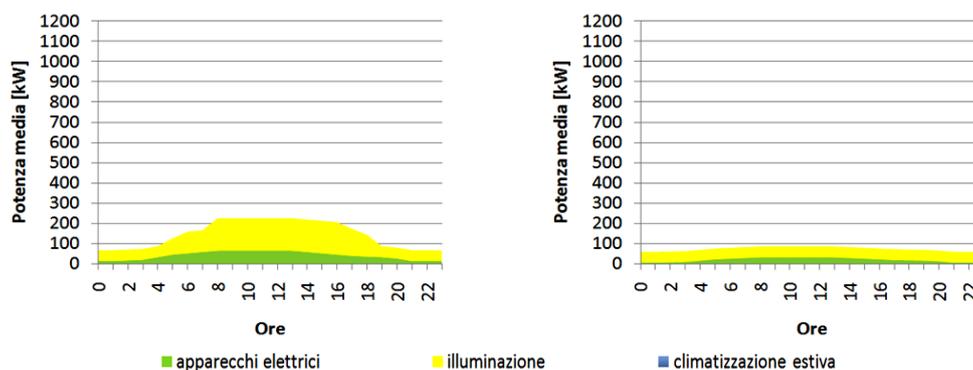


Figura 2.9 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di una scuola in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

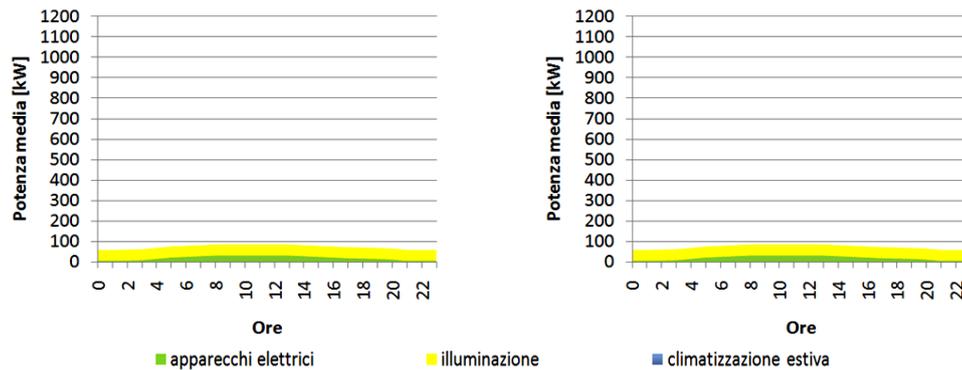


Figura 2.10 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di una scuola in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

2.1.2.3 Università

Per le università il discorso è sostanzialmente diverso rispetto alle scuole di livello inferiore, in quanto esse sono come delle piccole città polifunzionali e vengono di conseguenza vissute in maniera differente. Sia le sedi più piccole sia i grandi poli nazionali possono essere più facilmente paragonati a dei quartieri più e meno estesi dotati di un certo numero di funzioni e servizi autonomi. All'interno di esse c'è un continuo viavai di persone: studenti e professori che si spostano da un'aula all'altra e il resto del personale addetto alla gestione del complesso (pulizie, consegne, ecc.); per questo motivo non esiste un vero e proprio tabellino orario che scandisca rigorosamente la vita interna, in quanto essendo la compresenza di una miriade di corsi e lezioni, la sovrapposizione dei relativi orari da luogo ad un tipo di occupazione e ad una fruizione dei servizi altamente eterogenea.

Ma vediamo dunque quali sono questi servizi. Dando per scontato che in generale gli impianti di sicurezza sono presenti in tutti gli edifici del settore terziario, assieme ad ascensori e a volte anche scale mobili, gli usi elettrici di un'università sono vastissimi: segreteria, portineria, uffici, sportelli per gli studenti o per i visitatori, senza contare le varie aule multimediali, ad alto contenuto di materiale elettrico/elettronico, e numerosissimi laboratori tecnici dotati di attrezzature di una certa potenza, all'interno dei quali si svolgono attività didattiche limitate a poche ore alla settimana ma anche attività continuative di sperimentazione ad opera di personale specifico. Inoltre le biblioteche, gestite spesso tramite servizi informatici, hanno la necessità di appoggiarsi ad una rete di computer sempre in contatto tra loro e devono poter offrire agli studenti adeguati servizi resi sempre più rapidi grazie ad appositi terminali elettronici.

Per i poli più grandi, infine, non è da escludere che al loro interno ospitano anche dei complessi di residenze per studenti, quindi in questo caso i consumi legati alla restante parte del tempo si andrebbero a sommare a quelli diurni connessi all'attività didattica. Per capire meglio che tipo di carichi elettrici si possono trovare in un ambiente universitario e in che modo questi si distribuiscano in una giornata tipo possiamo fare riferimento a un esempio che prende in esame una piccola porzione di un complesso più esteso nella quale si svolgono una varietà di funzioni sufficientemente rappresentativa di una situazione globale (Figura 2.11, Figura 2.12, Figura 2.13).

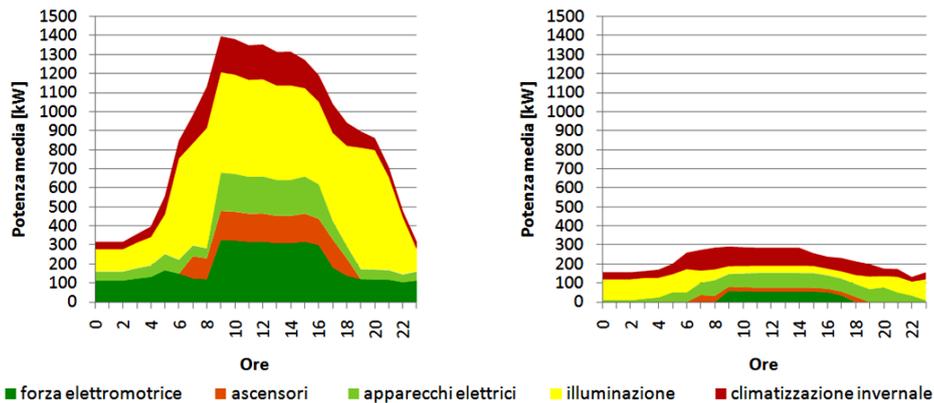


Figura 2.11 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di un'università in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

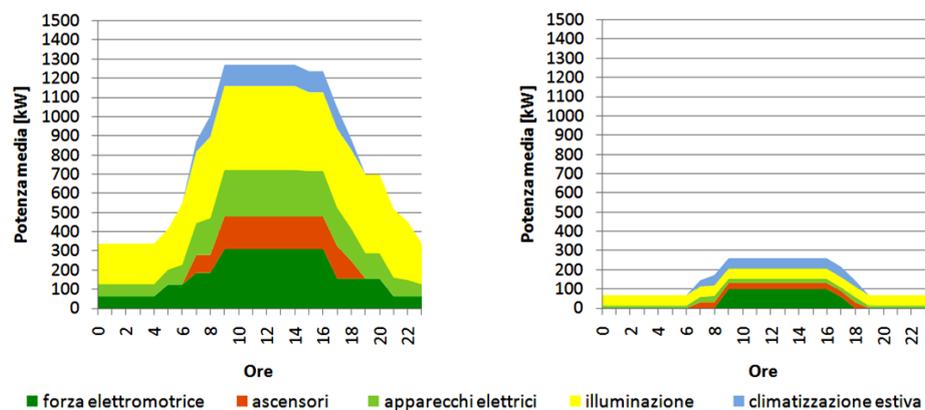


Figura 2.12 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di un'università in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

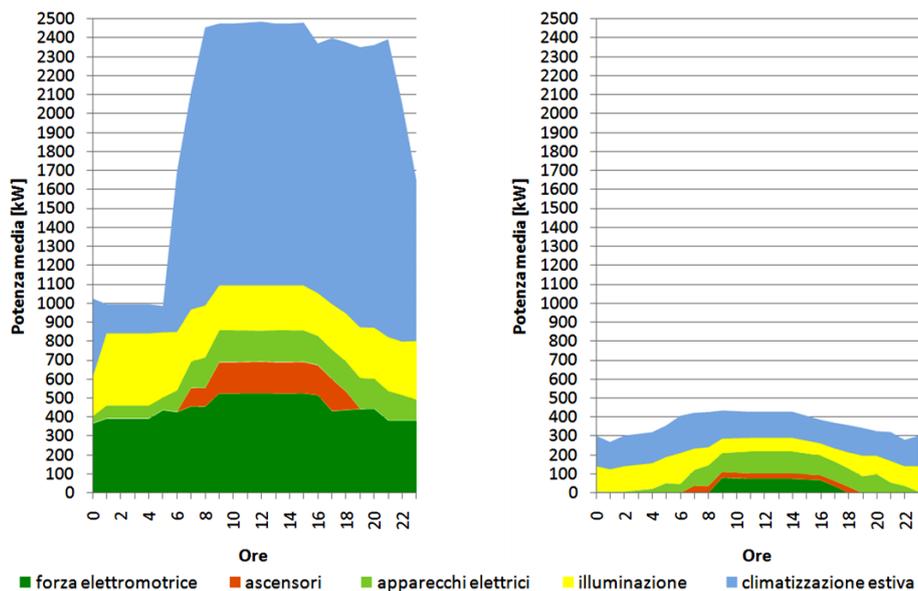


Figura 2.13 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di un'università in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).

Analizziamo quindi i vari settori di consumo, partendo dall'illuminazione. Diversamente dal caso degli uffici, in questo caso il grado di illuminamento delle postazioni di lavoro deve mantenere un valore maggiore in quanto i compiti svolti richiedono maggiore precisione e quindi maggiore capacità visiva; mentre in ufficio si lavora principalmente su uno schermo di computer e le attività svolte su carta sono di semplice lettura, in un'università oltre a questo si possono svolgere anche compiti di disegno o lavori di precisione, ed in ogni caso la stesura di appunti scritti a mano per parecchie ore richiede condizioni di comfort luminoso superiori alla norma, per non affaticare eccessivamente la vista. Per questi motivi, l'illuminazione naturale non è sempre sufficiente a garantire queste condizioni, in base anche al fatto che le aule sono di grandi dimensioni e le zone più distanti dalle finestre sono sensibilmente meno illuminate. Ecco che l'illuminazione artificiale subentra praticamente sempre coprendo l'intero locale asservito (sono ancora rari i casi di accensione selettiva delle lampade in funzione del grado di luminosità interno), e quindi si può dire che funziona in maniera pressoché costante per tutto l'arco delle lezioni, con un consumo maggiore nella stagione invernale e uno minore in quella estiva a causa ovviamente delle differenti condizioni esterne.

Dopo l'illuminazione, che ad eccezione dell'estate (in cui il carico maggiore è quello per la climatizzazione) si fa carico dell'assorbimento più consistente, la seconda voce più di peso risulta quella della forza motrice, ovvero tutto il sistema di prese di corrente, collegate sia ad utenze fisse sia lasciate a disposizione di eventuali utilizzatori temporanei; anche in questo caso l'andamento del carico, tolti il transitorio iniziale e a fine lezioni, risulta circa costante (molto più elevato in estate poiché per il raffrescamento entrano in funzione un maggior numero di ausiliari elettrici rispetto al riscaldamento invernale).

Da ciascuno dei grafici precedenti si può facilmente notare che, in un giorno normale di lezioni, il fabbisogno complessivo varia proporzionalmente al grado di occupazione e si concentra grosso modo tra le 8 e le 19, fuorché in estate in cui, grazie alle giornate più lunghe, gli studenti si fermano qualche ora in più a studiare nelle aule libere o nelle sale delle biblioteche. Tuttavia, anche fuori dagli orari didattici l'edificio mantiene comunque un certo livello di "vita", infatti, come si è visto per gli uffici e per le scuole, è necessario che alcune parti del complesso rimangano sempre attive in ogni momento. Come emerge dai profili di consumo, utilizzi come la forza motrice, l'impianto idrico-sanitario e gli ascensori rappresentano un consumo solamente nelle ore centrali della giornata, mentre l'illuminazione degli spazi sia interni sia esterni e l'impianto di climatizzazione rimangono costantemente in funzionamento, l'una per ragioni di sicurezza e l'altro per mantenere comunque le temperature interne al di sopra di una soglia minima, opportunamente impostata.

2.2 Profili giornalieri di alcuni elettrodomestici – Progetto MICENE 2004

Come già introdotto in precedenza, questa campagna di ricerca ha visto il monitoraggio, per un periodo di diverse settimane, di un cospicuo campione di apparecchi elettrici domestici appartenenti a famiglie italiane al fine di recuperare informazioni specifiche sia sul loro consumo sia sul loro modo di utilizzo. Per ogni utilizzatore è stato individuato il funzionamento orario medio su tutto il campione, quindi il discorso non è limitato ad un solo apparecchio, bensì alla sua contestualizzazione a livello nazionale; per questa ragione, ad esempio, le curve di carico individuate non corrispondono al funzionamento reale di "un" elemento nell'arco della giornata, ma servono a mettere in luce il funzionamento medio di tutti gli apparecchi di quel tipo in una giornata, informazione che può servire a pianificare ad esempio l'accensione di determinati dispositivi nei momenti in cui la richiesta media di energia elettrica (e quindi anche il suo costo) è minore; anche le potenze indicate non si riferiscono a quelle del singolo

apparecchio, ma sono quelle in gioco considerando tutti gli apparecchi monitorati in quel momento.

Entrando nello specifico dell'analisi, gli elettrodomestici analizzati sono stati i seguenti:

- lavabiancheria;
- lavastoviglie;
- frigoriferi: apparecchi monomotore per il freddo a 1 porta con o senza cella per cibi congelati;
- frigocongelatori: apparecchi bimotores per il freddo a 2 porte, con uno dei due scomparti riservato ai cibi congelati;
- congelatori verticali: apparecchi a 1 porta esclusivamente per cibi congelati, con sportello apribile frontalmente;
- congelatori orizzontali: apparecchi a 1 porta esclusivamente per cibi congelati, con sportello apribile dall'alto;
- TV;
- videoregistratori;
- lettori DVD;
- sistemi Hi-Fi;
- personal computer: sono intesi come postazioni di lavoro che comprendono, nella maggior parte dei casi, l'unità centrale del PC (dotata di masterizzatori CD/DVD), un monitor, una stampante e un modem;
- scanner;

Prima di procedere è necessario fare una piccola premessa: poiché il campione comprende oggetti di età variabile (principalmente per quelli più tradizionali), i dati esposti in seguito comprendono una buona fetta di "consumi eccessivi" causati da apparecchi antecedenti all'entrata in vigore della direttiva europea sull'etichettatura energetica degli elettrodomestici; da quel momento, infatti, il trend di consumo ha subito una drastica diminuzione per poi scendere nuovamente in maniera lineare, e solo tra qualche anno, quando non saranno più in uso apparecchi del vecchio¹⁰ tipo, i dati acquisiranno una maggiore attualità.

2.2.1 Lavabiancheria

Il consumo di una lavabiancheria, a parità di potenza nominale e di età, dipende sostanzialmente dal tipo di ciclo di lavaggio che viene scelto e soprattutto dalla temperatura selezionata per l'acqua. Le lavatrici di tipo più moderno, infatti, offrono un'ampia gamma di programmi preimpostati (alcune sono addirittura programmabili dall'utente) per adattare il lavaggio ai più comuni tipi di tessuto e consumare meno acqua ed energia possibile, oltre ad utilizzare sempre di più i cicli "a freddo" (ovvero con l'acqua non riscaldata) o a temperature regolabili, ben lontane dai classici 60°C e oltre dei modelli più vecchi.

L'utilizzo che ne viene fatto, poi, è tendenzialmente simile un po' per tutte le famiglie, in quanto si preferisce lavare al mattino per poi far asciugare i panni durante le ore centrali del giorno, che sono più calde. Qualche piccola differenza si riscontra nei giorni feriali, in cui magari si è accumulata la biancheria e può essere necessario un lavaggio in più. In ogni caso, il giorno medio annuale è pressoché riconducibile al giorno medio feriale.

¹⁰ In questo caso, con "vecchio" si intende antecedente alla direttiva europea.

Età media delle lavabiancheria monitorate [anni]	7-8
Potenza media giornaliera nazionale [W]	28
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	0,63
Consumo medio annuale [kWh/anno]	224

Tabella 2.1 – Caratteristiche di una lavabiancheria media utilizzata in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

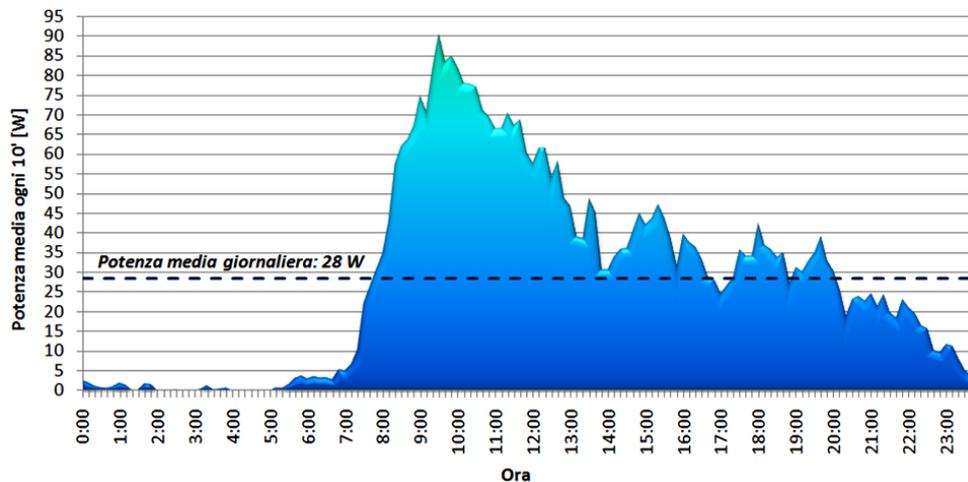


Figura 2.14 – Curva di carico giornaliera media delle lavabiancheria (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

2.2.2 Lavastoviglie

Anche per le lavastoviglie vale pressappoco lo stesso discorso fatto per le lavatrici, con l'unica differenza che la temperatura dell'acqua deve necessariamente essere a un certo livello per poter eliminare adeguatamente lo sporco di cibo. Inoltre, riguardo all'uso, in base al numero di componenti del nucleo familiare si riscontra una frequenza differente di cicli di lavaggio, che può arrivare in alcuni casi anche a due cicli al giorno per le famiglie più numerose oppure essere inferiore a uno per quelle con pochi componenti. Dalla *Figura 2.15* si può notare che i periodi preferiti dagli italiani per lavare i piatti e le posate sono sostanzialmente tre: il principale si individua alla sera dopo cena, momento in cui probabilmente si riempie la lavastoviglie assieme ai resti della giornata, poi se ne trova un altro nel mezzo del pomeriggio, dopo aver finito lo spuntino, e infine un discreto numero di persone si occupa di far partire un ciclo di lavaggio nella tarda mattinata a cavallo delle ore 10.

Età media delle lavastoviglie monitorate [anni]	6
Potenza media giornaliera nazionale [W]	46,4
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1,04
Consumo medio per ciclo [kWh/ciclo]	1,45
Consumo medio annuale [kWh/anno]	369

Tabella 2.2 – Caratteristiche di una lavastoviglie media utilizzata in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

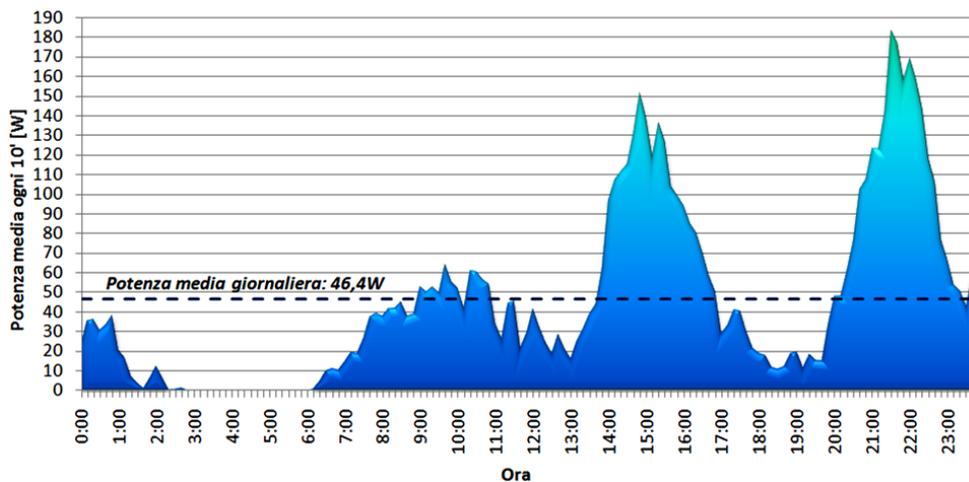


Figura 2.15 – Curva di carico giornaliera media delle lavastoviglie (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

2.2.3 Apparecchi per il freddo: frigocongelatori, frigoriferi, congelatori

Gli apparecchi di questa categoria sono stati suddivisi nelle quattro categorie menzionate, al fine di evitare di fare delle generalizzazioni riguardo funzionamenti sensibilmente differenti tra loro.

Inoltre vanno fatte alcune osservazioni: in una famiglia standard non ha senso che coesistano un frigocongelatore, un frigorifero e un congelatore, poiché laddove vi sia la presenza del primo non sono necessari gli altri due e viceversa; poi c'è da dire che, per motivi di spazio, i due elementi distinti sono più frequentemente presenti nelle abitazioni unifamiliari piuttosto che negli appartamenti condominiali, quindi tendenzialmente la potenza media impiegata in una villetta è maggiore di quella di un appartamento. Per quanto riguarda le curve di carico, analizzando il funzionamento medio non si riscontrano picchi accentuati in quanto i cicli di accensione e spegnimento vengono opportunamente ripartiti nell'arco della giornata in maniera uniforme all'interno del campione; in ogni caso, per quanto riguarda frigoriferi e frigocongelatori è possibile individuare un leggero aumento del consumo a cavallo del pranzo e della cena, presumibilmente dovuto ad una maggiore apertura delle porte. Per i congelatori questo fenomeno è assai più raro in quanto vengono lasciati chiusi per periodi di tempo maggiori funzionando a frequenze pressoché regolari, per venire chiamati in causa una volta ogni tanto per rifornire il frigorifero. Su queste basi si possono illustrare i risultati numerici.

Età media dei frigocongelatori monitorati [anni]	7,9
Potenza media giornaliera nazionale [W]	64,8
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1,8
Consumo medio annuale [kWh/anno]	637

Tabella 2.3 – Caratteristiche di un frigorifero medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

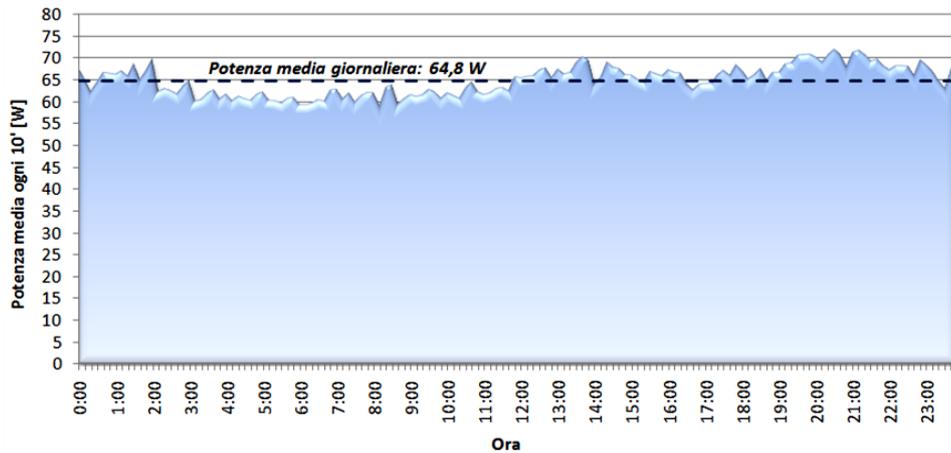


Figura 2.16 – Curva di carico giornaliera media dei frigocongelatori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

Età media dei frigoriferi monitorati [anni]	10,2
Potenza media giornaliera nazionale [W]	32
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1
Consumo medio annuale [kWh/anno]	354

Tabella 2.4 – Caratteristiche di un frigorifero medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

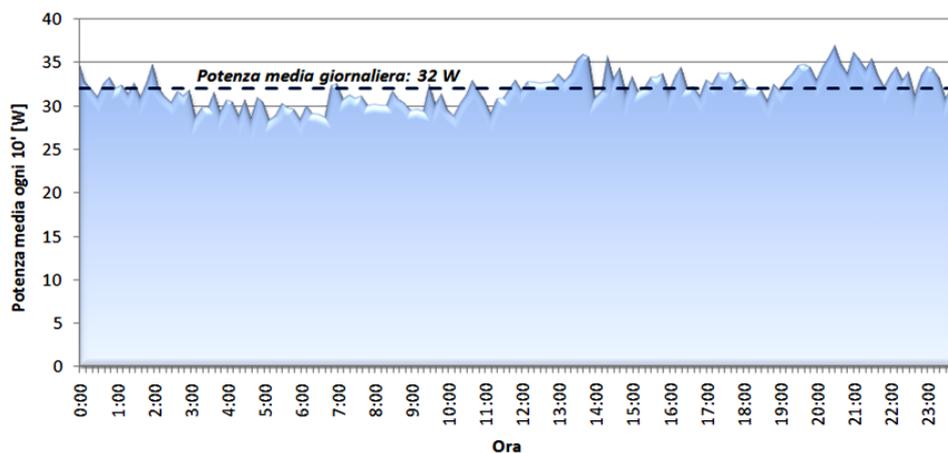


Figura 2.17 – Curva di carico giornaliera media dei frigoriferi (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

CONGELATORI VERTICALI	
Età media dei congelatori verticali [anni]	7,2
Potenza media giornaliera nazionale [W]	57
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1,26
Consumo medio annuale [kWh/anno]	447

Tabella 2.5 – Caratteristiche di un congelatore verticale medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

CONGELATORI ORIZZONTALI	
Età media congelatori orizzontali [anni]	9,9
Potenza media giornaliera nazionale [W]	57
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1,6
Consumo medio annuale [kWh/anno]	568

Tabella 2.6 – Caratteristiche di un congelatore orizzontale medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

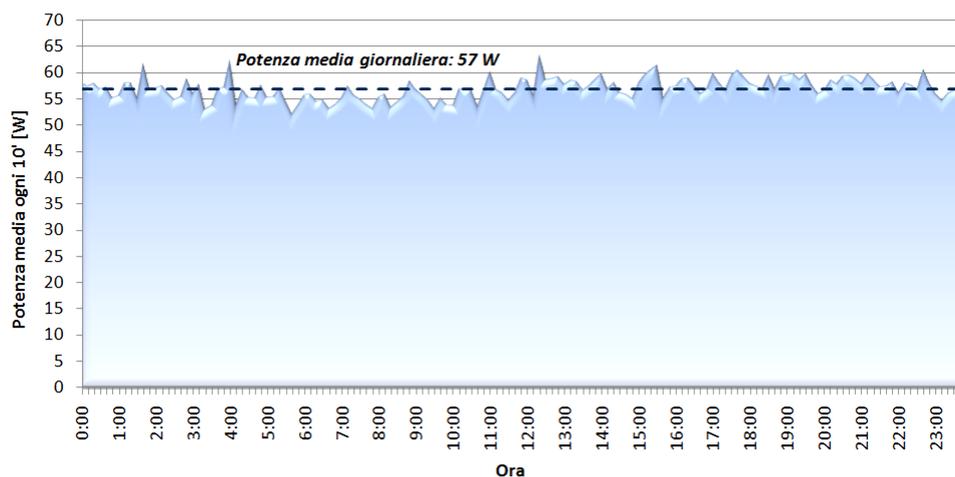


Figura 2.18 – Curva di carico giornaliera media dei congelatori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

2.2.4 Apparecchi audiovisivi

Con questo termine si è inteso, nell’analisi, un gruppo comprendente televisore, videoregistratore/lettore DVD e altri apparecchi ausiliari come decoder o antenne interne che, in genere, costituiscono la dotazione più o meno comune a tutte le famiglie attuali e possono dare un’idea del consumo d’insieme per questo tipo di intrattenimento.

Età media ¹¹ [anni]	/
Potenza media giornaliera nazionale [W]	160
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	1
Consumo medio annuale [kWh/anno]	355

Tabella 2.7 – Caratteristiche di un complesso audiovisivo medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

2.2.4.1 Televisori

Il televisore, dalla sua introduzione in Italia nei primi anni ‘50 è ormai da tempo un apparecchio immancabile nelle case di tutti noi. Come nell’arco del tempo le sue caratteristiche hanno subito cambiamenti rapidissimi, sempre alla rincorsa delle nuove

¹¹ In questo caso è difficile stimare un’età media per un gruppo eterogeneo formato da prodotti con cicli di vita molto differenti (un televisore, ad esempio, si tiene per molto più tempo rispetto magari a un lettore DVD, che si evolve più velocemente essendo legato alle innovazioni dei supporti che deve poter leggere).

tecnologie che consentono effetti visivi all'avanguardia, anche il suo utilizzo è mutato nel corso degli anni; all'inizio era la novità, ma anche i programmi trasmessi non costituivano un bombardamento 24 ore su 24, ma seguivano degli orari precisi alternati a momenti vuoti. Oggi invece è un flusso continuo, con numerosissimi canali (esplosi ancor più con l'introduzione del digitale terrestre) che sovrappongono i loro palinsesti tutti assieme. Ne deriva che il televisore è diventato la compagnia preferita nei momenti in cui non si ha nulla da fare e si vuole, o si deve, restare in casa; per le persone più anziane è una fortuna averlo, in quanto spesso si trovano ad essere sole e a trascorrere quindi gran parte della giornata a "sfogliare" i vari programmi; per una famiglia tradizionale, invece, ha quasi assunto la veste di "focolare domestico", ovvero quell'elemento di fronte al quale ci si riunisce e si condividono i momenti di relax (ma non solo). Come si può intuire dalla *Figura 2.19*, questi momenti si concentrano soprattutto quando si è a casa dal lavoro (poiché la maggior parte delle famiglie è impegnata in attività ad orari fissi).

	TV TRADIZIONALE	TV LCD	TV AL PLASMA
Potenza media in stato acceso [W]	84	130	253
Potenza media in Stand-By [W]	3,5	2	2,6

Tabella 2.8 – Caratteristiche di un televisore medio utilizzato in Europa (Fonte: Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, Proceedings of the 4TH International Conference Eedal '06).

Potenza media giornaliera nazionale dei televisori[W]	14
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	0,35
Consumo medio annuale [kWh/anno]	120

Tabella 2.9 – Caratteristiche dei televisori utilizzati in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

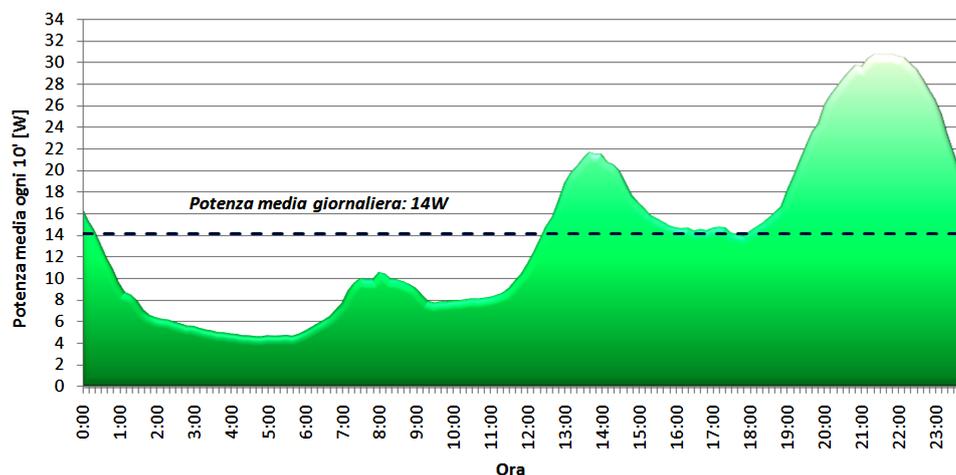


Figura 2.19 – Curva di carico giornaliera media dei televisori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

2.2.4.2 Personal computer

Per i computer il discorso è simile a quello fatto per i televisori; grazie alla larga diffusione di internet è possibile avere accesso, tramite la propria postazione (sia essa un PC, un notebook o un più recente netbook), a qualsiasi informazione proveniente da ogni angolo del mondo. Per questo motivo anche il computer diventa uno strumento di intrattenimento utilizzato di

frequente, anche di più della televisione in quanto quest'ultima ha orari e programmi fissi, al contrario del web dal quale si può attingere qualsiasi cosa in qualsiasi momento.

Potenza media giornaliera nazionale dei PC [W]	14
Consumo medio giornaliero [kWh/giorno]	0,37
Consumo medio annuale [kWh/anno]	132

Tabella 2.10 – Caratteristiche di un PC medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

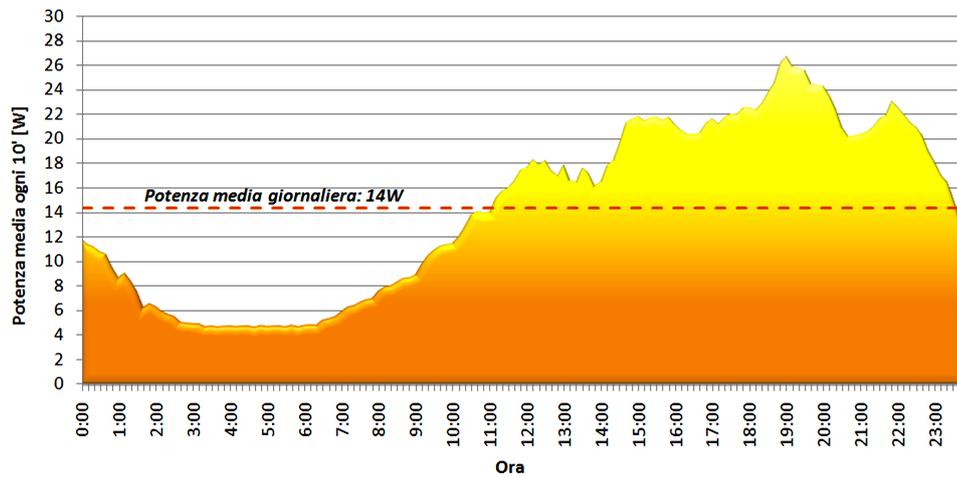


Figura 2.20 – Curva di carico giornaliera media dei PC (Fonte: Progetto MICENE, 2004).

Capitolo 3

Alcuni casi pratici di consumi energetici edilizi

In questo capitolo vengono presentati una serie di esempi pratici, reali o ipotetici, per vedere quali possono essere le prestazioni energetiche complessive di alcune categorie di edifici al fine di valutare in che modo il consumo globale, ma anche la classificazione energetica, siano influenzati dai principali aspetti quali i flussi termiche attraverso l'involucro e i consumi legati agli utilizzi elettrici. Facendo delle prove di variabilità su singoli parametri (trasmittanza involucro, illuminazione e carichi elettrici generici), l'obiettivo è quello di comprendere su quali di questi conviene concentrarsi per avere il massimo beneficio in termini di energia primaria e, in termini più concreti, di denaro (un'alta classe energetica aumenta il valore commerciale dell'immobile). Per ultimo sarà fatto un riassunto, completato con delle ipotesi di intervento in ogni ambito, evidenziando i risultati in termini di abbattimento di consumi.

3.1 Metodologia di stima dei fabbisogni

In aggiunta ai casi di studio già redatti, per le simulazioni aggiuntive sono stati seguiti due metodi differenti, abbastanza semplici ma che forniscono dei valori sufficientemente attendibili per gli scopi di questo lavoro: il software DoCEt, liberamente scaricabile dal sito dell'ENEA, e un foglio di calcolo Excel appositamente creato.

Con l'aiuto del primo, dopo aver inserito i dati geometrici dell'edificio, la sua collocazione e le caratteristiche dei sistemi tecnologici di chiusura, si sono determinati i fabbisogni¹² di energia termica (o netta) per la climatizzazione estiva ed invernale, secondo le procedure contenute nelle UNI TS 11300-1:2008 e UNI TS 11300-2:2008. Per poter avere dei dati confrontabili direttamente si è deciso di situare tutti gli edifici analizzati a Milano, rientrando nella zona climatica E. Per affinare il più possibile i risultati, visto che il programma lo consente, si è ipotizzato di posizionare la palazzina uffici nel centro città, la villetta unifamiliare in una località isolata e la residenza multifamiliare in periferia; questo con l'obiettivo di diversificare i contributi dell'ombreggiamento degli edifici circostanti (e di conseguenza gli apporti energetici solari), attraverso dei coefficienti standard, in modo da caratterizzare maggiormente le tipologie edilizie anche in funzione del contesto in cui più probabilmente andranno inserite.

Località	Milano
Zona climatica	E
Gradi Giorno	2404
Altitudine media sul livello del mare [m]	122

Tabella 3.1 – Dati relativi alla zona geografica, comune a tutti gli esempi.

¹² I carichi interni di persone e oggetti sono determinati in automatico in funzione dei dati di input e in accordo con la norma ISO 13790:2008 al paragrafo G.8.

Per la restante parte dei calcoli è stato sufficiente impostare un foglio di calcolo per ricavare:

- il fabbisogno di energia netta per la produzione di ACS;
- il fabbisogno di energia finale per l'illuminazione per il residenziale, oppure l'indice LENI per gli edifici destinati a uffici;
- il fabbisogno di energia finale per l'uso di apparecchiature elettriche;
- i fabbisogni di energia finale, a partire dall'energia netta, in funzione dei rendimenti della rete impiantistica (per quanto riguarda riscaldamento e climatizzazione estiva);
- i fabbisogni di energia primaria, a partire da quella finale, in funzione del rendimento energetico del vettore utilizzato;
- la classificazione energetica conclusiva secondo i tre criteri precedentemente descritti.

In aggiunta a questi parametri, sufficienti a generare l'attestato di certificazione (o qualificazione) energetica, ci si propone in questa trattazione di quantificare il consumo di energia primaria per l'utilizzo di apparecchiature elettriche, in modo da poter valutare l'efficacia di strategie di intervento migliorative finalizzate anche al controllo dei carichi. Per questo scopo, è stato appositamente definito un nuovo indice chiamato "fabbisogno di energia primaria per l'utilizzo di apparecchiature elettriche", misurato sempre in [kWh/m²anno] e indicato con EP_{EL}. Nelle tabelle seguenti sono schematizzate le ipotesi fatte alla base dei calcoli.

Tipo di impianto	Autonomo
Tipologia generatore per climatizzazione invernale e ACS	Caldaia a condensazione
Tipologia generatore per raffrescamento estivo	Pompa di calore
Rendimento di generazione estiva (COP pompa di calore): $\eta_{G,EST}$	2,50
Rendimento di generazione invernale: $\eta_{G,INV}$	0,99
Rendimento di distribuzione (impianti conformi alla L. 10/91): η_D	0,98
Rendimento di emissione (radiatori su parete esterna isolata): η_E	0,94
Rendimento di regolazione (solo zona con regolatore): η_R	0,98
Rendimento medio globale impianto di riscaldamento e ACS: $\eta_{GL,EST}^*$	0,99
Rendimento medio globale impianto di climatizzazione estiva: $\eta_{GL,INV}^*$	2,26
Rendimento energetico metano [kWh termici/ kWh di energia primaria]	1,00
Rendimento energetico elettricità [kWh termici/ kWh di energia primaria]	0,46
* $\eta_{GL} = \eta_G \times \eta_D \times \eta_E \times \eta_R$	

Tabella 3.2 – Dati relativi agli impianti di riscaldamento, climatizzazione estiva e ai rendimenti dei vettori energetici (per il riscaldamento e l'ACS i rendimenti sono ricavati dalla UNI TS 11300-2:2008).

Fabbisogno giornaliero specifico: a [l/(gg m ²)]	4,514 * S _{utile} ^{-0,2356}
Parametro dipendente dalla destinazione d'uso: N _u [m ²]	Superficie calpestabile dell'edificio
Temperatura di erogazione: T _{er} [°C]	40
Temperatura di ingresso nella caldaia: T ₀ [°C]	15
Giorni del periodo di calcolo: G [gg]	365

Tabella 3.3 – Dati relativi all'utilizzo dell'acqua calda sanitaria per le residenze.

Parametro dipendente dalla destinazione d'uso: N _u [l/(gg m ²)]	0,2
Temperatura di erogazione: T _{er} [°C]	40
Temperatura di ingresso nella caldaia: T ₀ [°C]	15
Giorni del periodo di calcolo: G [gg]	300

Tabella 3.4 – Dati relativi all'utilizzo dell'acqua calda sanitaria per gli uffici.

3.2 Caso 1: edificio residenziale unifamiliare

Questo esempio vede come oggetto una villetta unifamiliare di circa 150 m² a pianta rettangolare ma compatta che si affaccia prevalentemente a Nord e a Sud; l'intera superficie è disposta su un piano solo fuori terra con un ulteriore piano interrato adibito a box auto e cantina, entrambi con un'altezza interpiano di 3 m. La tecnologia costruttiva impiegata prevede una struttura tradizionale in calcestruzzo armato, mentre le chiusure sono di tipo decisamente poco prestante, in linea con le abitudini costruttive di circa vent'anni fa: le chiusure opache verticali sono in muratura a cassa vuota con l'intercapedine parzialmente occupata da isolante termico, intonacate all'interno e rivestite in piastrelle all'esterno; la copertura è un tetto piano con struttura in calcestruzzo armato, 4 cm di isolante in polistirolo e un massetto cementizio di finitura; il solaio su cantina è dello stesso tipo di un tradizionale solaio interpiano, con parte strutturale in laterocemento intonacata inferiormente, massetto di allettamento per gli impianti tecnici e rivestimento in linoleum; il solaio controterra si differenzia solo per l'assenza del rivestimento interno e dell'intonacatura esterna; gli infissi trasparenti sono serramenti in legno con vetro singolo da 6 mm.

L'occupazione interna è stata stimata a cinque persone, mentre per quanto riguarda l'allestimento interno si è ipotizzato di dotare l'ambiente delle più comuni apparecchiature domestiche¹³; in cucina è stato simulato un frigocongelatore, in aggiunta a un congelatore a parte posto nel locale cantina; per il lavaggio sono state considerate una lavabiancheria e una lavastoviglie, e anche se in realtà queste ultime si sono diffuse in massa da non molto tempo è sensato pensare che oggi tutti ne abbiano una; terminate le applicazioni necessarie, sul versante comfort e intrattenimento compaiono un televisore con relativi ausiliari (lettore DVD, lettore VHS, ecc.), del quale ve ne è almeno uno per famiglia (e non sono rari i casi in cui ce ne sia anche più di uno nelle camere da letto), assieme ad almeno un personal computer (spesso ad un PC fisso se ne aggiungono uno o due portatili, in base alle attività svolte dai componenti del nucleo familiare). Sotto queste premesse illustriamo i risultati della simulazione.

Pareti perimetrali [W/m ² K]	0,80
Solaio di copertura [W/m ² K]	1,38
Solaio controterra [W/m ² K]	2,10
Solaio interpiano e su spazio non riscaldato [W/m ² K]	1,74
Serramenti vetrati [W/m ² K]	4,90

Tabella 3.5 – Caso 1: trasmittanze degli elementi di chiusura.

Superficie netta riscaldata [m ²]	150
Altezza interpiano [m]	3
Volume netto riscaldato [m ³]	405
Superficie lorda di piano [m ²]	165,36
Altezza lorda riscaldata [m]	3,3
Volume lordo [m ³]	545,7

Tabella 3.6 – Caso 1: dati relativi alla geometria dell'edificio.

¹³ Mancherebbero anche un forno tradizionale e un forno a microonde, sui quali però non sono stati reperiti dati sul consumo medio.

Esposizione	S. finestrata lorda [m ²]	S. finestrata vetrata ¹⁴ [m ²]	S. opaca disperdente lorda [m ²]	S. opaca disperdente netta [m ²]
Nord	3,20	2,56	51,48	48,28
Est	3,20	2,56	34,98	31,78
Sud	9,60	7,68	51,48	41,88
Ovest	3,20	2,56	34,98	31,78
Orizzontale	0,00	0,00	330,72	330,72
TOTALE	19,20	15,36	503,64	484,44
Rapporto S/V (S. opaca disperdente lorda TOT/Volume lordo)				0,92

Tabella 3.7 – Caso 1: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).

Occupazione [pp]	5
1 Frigorifero con congelatore [kWh/anno]	637
1 Congelatore verticale [kWh/anno]	447
1 Lavabiancheria [kWh/anno]	224
1 Lavastoviglie [kWh/anno]	369
2 TV [kWh/anno]	2*355
2 Lettori DVD [kWh/anno]	2*344
2 PC con monitor [kWh/anno]	2*132
1 Stampante laser ¹⁵ [kWh/anno]	216
Illuminazione ¹⁶ [kWh/(m ² anno)]	3,52

Tabella 3.8 – Caso 1: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche¹⁷ più significative.

Poiché le scale indicate dalla UNI e dalle linee guida sono funzione di alcuni parametri nazionali, con $EP_{i,L(2010)} = R_r = 111,12 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ e $R_s = 170^{18} \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ le classificazioni diventano:

- secondo la UNI: A fino a 56 kWh/m²anno, B fino a 111, C fino a 141, D fino a 170, E fino a 255, F fino a 340, G oltre 340;
- secondo le linee guida: A+ fino a 37 kWh/m²anno, A fino a 65, B fino a 95, C fino a 129, D fino a 160, E fino a 218, F fino a 308, G oltre 308.

Il risultato della procedura di certificazione è illustrato nella tabella seguente.

¹⁴ Determinata in funzione di un rapporto vetro/finestra di 0,8.

¹⁵ Potenza nominale massima 30 W, usata circa 10 minuti al mese per un totale di 2 ore in un anno.

¹⁶ Fonte: progetto MICENE (www.eerg.it); il dato, relativo alle residenze, si ricava rapportando il consumo annuale medio rilevato, di 375 kWh/anno, riferito ad un campione con superficie media di 106,5 m².

¹⁷ Fonte: progetto MICENE (www.eerg.it).

¹⁸ Indice medio ipotizzato relativo al parco nazionale destinato a residenze unifamiliari.

E_H - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	251,32
E_C - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	11,73
E_{FER} - Contributo di energia <i>netta</i> fornito da fonti energetiche rinnovabili [kWh/m ² anno]	0,00
EP_H - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	281,20
EP_C - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	11,30
EP_W - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per produzione di ACS [kWh/m ² anno]	16,45
EP_T - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento e la produzione di ACS [kWh/m ² anno]	297,65
EP_{ILL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'illuminazione artificiale [kWh/m ² anno]	7,65
EP_{EL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'utilizzo di apparecchiature elettriche [kWh/m ² anno]	51,52
$EP_{i,L(2010)}$ [kWh/m ² anno]	111,12
Classificazione secondo linee guida nazionali ($EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL}$)	G
Classificazione secondo UNI EN 15217 ($EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL}$)	F
Classificazione secondo Regione Lombardia (EP_H)	G

Tabella 3.9 – Caso 1: riepilogo risultati finali.

Per valutare in indicativamente la spesa sostenuta per l'utilizzo dell'immobile, considerando per comodità solo la quota di consumo (i costi fissi sono suddivisi in fasce, quindi è difficile generalizzare), è sufficiente moltiplicare ogni singolo fabbisogno per l'indice economico del relativo vettore energetico e sommare i valori ottenuti.

- Gas metano:
 - Energia primaria = 297,65 kWh/m²anno
 - Indice economico¹⁹ = 0,074 €/kWh
 - Costo finale = 22,03 €/m²anno
- Elettricità:
 - Energia primaria = 70,47 kWh/m²anno
 - Indice economico²⁰ = 0,30 €/kWh
 - Costo finale = 21,14 €/m²anno
- Complessivo: **43,17 €/m²anno**

3.3 Caso 2: edificio residenziale plurifamiliare A

Questo secondo caso vede come oggetto una palazzina residenziale a pianta rettangolare di 3 piani fuori terra, con piano interrato adibito a box e cantine, che occupa una superficie lorda in pianta di circa 390 m²; la forma è piuttosto allungata (30 m x 12 m) ed ha le pareti maggiori affacciate a Nord e a Sud; il volume comprende 3 appartamenti di simile metratura (circa 120 m² ognuno) per ogni piano, per un totale di 9 appartamenti serviti da un unico vano scala centrale dotato di due ascensori. In questo caso l'occupazione è stata determinata a partire da un affollamento medio di 0,03 pp/m².

¹⁹ Fonte: <http://www.centroconsumatori.it/40v26395d28081.html>

²⁰ Tariffa massima secondo Enel Energia per l'abbonamento Energia Tutto Compreso Green dedicato alle famiglie.

L'ossatura dell'edificio è sempre in calcestruzzo armato; le pareti perimetrali sono sempre a cassa vuota, come per la villetta, ma sono costituite da laterizi più prestanti e una maggiore quantità di isolamento (7 cm contro 4); le pareti confinanti col vano scale sono in C.A. con coibentazione e tavolato in forati; il solaio di copertura è un tetto piano isolato con struttura in laterocemento intonacato internamente, massetto cementizio, isolante minerale rigido (7,5 cm), massetto di pendenza e rivestimento esterno in ghiaia; il solaio interpiano comprende la parte strutturale intonacata inferiormente, uno strato di isolante in fibra minerale rigida che ospita anche le tubazioni impiantistiche e un massetto leggero di copertura, con finitura in piastrelle ceramiche; il solaio di chiusura inferiore è del tutto simile a quelli superiori, ma comprende un isolamento in polistirene rigido di 6 cm e risiede al di sopra di un vespaio areato di 30 cm. I serramenti, di tipo più recente rispetto a quelli del caso precedente, hanno un telaio in alluminio a taglio termico con vetrocamera riempita d'aria.

In questo caso, trattandosi di un complesso di più famiglie, sono state fatte delle considerazioni riguardo un appartamento medio. A questo proposito, per ognuna delle nove unità abitative, è stata stimata un'occupazione di circa quattro persone e una dotazione di apparecchi sensatamente simile a quella della villetta da cinque residenti. Poiché però in realtà coesistono appartamenti più grandi e appartamenti più piccoli, occupati di conseguenza da famiglie o diversamente numerose o con una differente situazione economica, si è pensato di variare alcuni valori di una certa percentuale per considerare queste disomogeneità. La variazione ha interessato sostanzialmente quegli utilizzatori legati a necessità non primarie come l'intrattenimento, quindi il numero di TV, computer e lettori DVD è stato aumentato di un 30% circa ipotizzando che circa tre famiglie su nove siano in possesso di una ulteriore TV con lettore DVD e di due computer in totale. I dati sintetici sono riportati di seguito.

Pareti perimetrali [W/m ² K]	0,40
Pareti verso vano scale [W/m ² K]	0,59
Solaio di copertura [W/m ² K]	0,35
Solaio controterra [W/m ² K]	0,39
Solaio interpiano e su spazio non riscaldato [W/m ² K]	0,41
Serramenti vetrati [W/m ² K]	3,00

Tabella 3.10 – Caso 2: trasmittanze degli elementi di chiusura.

Superficie netta di piano [m ²]	360
Superficie netta riscaldata [m ²]	1080
Altezza interpiano [m]	3
Volume netto riscaldato [m ³]	3240
Superficie lorda di piano [m ²]	385,56
Altezza lorda riscaldata [m]	9,3
Volume lordo [m ³]	3585,7

Tabella 3.11 – Caso 2: dati relativi alla geometria dell'edificio.

Esposizione	S. finestrata lorda [m ²]	S. finestrata vetrata [m ²]	S. opaca disperdente lorda [m ²]	S. opaca disperdente netta [m ²]
Nord	56,09	44,87	284,58	186,91
Est	13,91	11,13	117,18	83,29
Sud	62,61	50,09	284,58	180,39
Ovest	13,91	11,13	117,18	83,29
Orizzontale	0,00	771,12	771,12	720,00
TOTALE	146,52	117,22	1574,64	1428,12
Rapporto S/V (S. opaca disperdente lorda TOT/Volume lordo)				0,44

Tabella 3.12 – Caso 2: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).

Occupazione [pp]	33
9 Frigoriferi con congelatore [kWh/anno]	9*637
9 Congelatori verticali [kWh/anno]	9*447
9 Lavabiancheria [kWh/anno]	9*224
9 Lavastoviglie [kWh/anno]	9*369
12 TV [kWh/anno]	12*355
12 Lettori DVD [kWh/anno]	12*344
12 PC con monitor [kWh/anno]	12*132
9 Stampanti laser [kWh/anno]	9*216
Illuminazione [kWh/(m ² anno)]	3,52
2 Ascensori ²¹ [kWh/anno]	2*912,5

Tabella 3.13 – Caso 2: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.

Con $EP_{i,L(2010)} = R_r = 79,67 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ e $R_s = 120^{22} \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ le classificazioni diventano:

- secondo la UNI: A fino a 40 kWh/m²anno, B fino a 80, C fino a 100, D fino a 120, E fino a 180, F fino a 240, G oltre 240;
- secondo le linee guida: A+ fino a 29 kWh/m²anno, A fino a 49, B fino a 72, C fino a 98, D fino a 121, E fino a 163, F fino a 229, G oltre 229.

Il risultato della simulazione è riassunto nella tabella a pagina seguente.

²¹ Consumo stimato ipotizzando un ascensore da 10 kW funzionante un quarto d'ora al giorno.

²² Indice medio ipotizzato relativo al parco nazionale destinato a palazzine residenziali.

E_H - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	48,05
E_C - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	18,92
E_{FER} - Contributo di energia <i>netta</i> fornito da fonti energetiche rinnovabili [kWh/m ² anno]	0,00
EP_H - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	53,76
EP_C - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	18,22
EP_W - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per produzione di ACS [kWh/m ² anno]	17,69
EP_T - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento e la produzione di ACS [kWh/m ² anno]	71,45
EP_{ILL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'illuminazione artificiale [kWh/m ² anno]	7,65
EP_{EL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'utilizzo di apparecchiature elettriche [kWh/m ² anno]	56,57
$EP_{i,L(2010)}$ [kWh/m ² anno]	79,67
Classificazione secondo linee guida nazionali (EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL})	C
Classificazione secondo UNI EN 15217 (EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL})	C
Classificazione secondo Regione Lombardia (EP_H)	B

Tabella 3.14 – Caso 2: riepilogo risultati finali.

La stima della spesa totale è la seguente:

- Gas metano:
 - Energia primaria = 71,45 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,074 €/kWh
 - Costo finale = 5,29 €/m²anno
- Elettricità:
 - Energia primaria = 82,45 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,30 €/kWh
 - Costo finale = 24,73 €/m²anno
- Complessivo: **30,02 €/m²anno**

3.4 Caso 3: edificio residenziale plurifamiliare B

Questo caso si basa sulla simulazione del funzionamento annuale di una palazzina di appartamenti progettata durante i corsi precedenti. Si tratta di un edificio di forma pressappoco a "T" tozza (relativamente compatta ma comunque più disperdente di un volume prismatico) di circa 6500 m³ distribuiti su quattro piani che occupano una superficie in pianta di circa 440 m² e all'interno dei quali sono posizionati undici appartamenti. Per quanto riguarda le tecnologie costruttive, a parte lo scheletro tradizionale in C.A., in quest'opera si è prestata una certa attenzione all'involucro, e in particolare alle chiusure verticali, cercando di far coesistere sia la funzione di isolamento fornita da materiali leggeri e porosi sia quella di accumulo energetico (sfasamento dell'onda termica incidente) data dalla massa. Per questo motivo si è cercato di utilizzare delle pareti esterne con una trasmittanza più bassa possibile mantenendo però una massa rilevante. Questo elemento tecnologico consiste sinteticamente in una parete ventilata in cui la parte "calda" è rappresentata da blocchi forati portanti ad alta capacità isolante, la quale sostiene dei pannelli sandwich modulari in calcestruzzo armato con all'interno una lastra in polistirene espanso di 4 cm; con una massa di quasi 400 kg/m² si

raggiunge una trasmittanza molto bassa, come mostrato nella *Tabella 3.15*. La copertura è a falde e di tipo ventilato, con struttura anch'essa in calcestruzzo armato adeguatamente regolarizzato, con uno strato coibente in polistirene impermeabile di ben 10 cm che fa da sottomanto alla camera ventilata e al rivestimento in tegole bituminose rivestite in rame. Il solaio intermedio è costituito da una parte strutturale in predalles, con al di sopra un isolante termico, massetto impiantistico e finitura in piastrelle, mentre il solaio di chiusura inferiore è simile ma collocato su un vespaio areato e con uno strato di polistirene minimo solo per ridurre la trasmissione delle vibrazioni. Infine, i serramenti sono in legno con vetrocamera singola trattata con film basso emissivo (molto utile nei periodi freddi ma d'ostacolo allo smaltimento del calore in estate).

Come per la precedente palazzina, a partire da un affollamento di 0,03 pp/m² si stima un'occupazione di circa 43 persone. La "dotazione elettrica" in questo caso è praticamente uguale per tutti gli appartamenti, con l'aggiunta di tre televisori a causa della presenza in ogni piano di un appartamento notevolmente più grande degli altri.

Pareti perimetrali [W/m ² K]	0,18
Pareti verso vano scale [W/m ² K]	1,32
Solaio di copertura [W/m ² K]	0,26
Solaio controterra [W/m ² K]	0,39
Solaio interpiano e su spazio non riscaldato [W/m ² K]	0,36
Serramenti vetrati [W/m ² K]	1,95

Tabella 3.15 – Caso 3: trasmittanze degli elementi di chiusura.

Superficie netta di piano [m ²]	357,1
Superficie netta riscaldata [m ²]	1428,4
Altezza interpiano [m]	3,4
Volume netto riscaldato [m ³]	5285,2
Superficie lorda di piano, compreso vano scale [m ²]	436,76
Altezza lorda riscaldata [m]	15,3
Volume lordo [m ³]	6507,7

Tabella 3.16 – Caso 3: dati relativi alla geometria dell'edificio.

Esposizione	S. finestrata lorda [m ²]	S. finestrata vetrata [m ²]	S. opaca disperdente lorda [m ²]	S. opaca disperdente netta [m ²]
Nord-Est	62,40	49,92	294,62	232,22
Sud-Est	107,84	86,27	395,28	287,44
Sud-Ovest	41,92	33,54	300,96	259,04
Nord-Ovest	86,40	69,12	395,28	308,88
Copertura	0,00	0,00	449,62	449,62
Su cantina	0,00	0,00	436,76	436,76
TOTALE	298,56	238,85	2272,52	1973,99
Rapporto S/V (S. opaca disperdente lorda TOT/Volume lordo)				0,35

Tabella 3.17 – Caso 3: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).

Occupazione [pp]	43
11 Frigoriferi con congelatore [kWh/anno]	11*637
11 Congelatori verticali [kWh/anno]	11*447
11 Lavabiancheria [kWh/anno]	11*224
11 Lavastoviglie [kWh/anno]	11*369
14 TV [kWh/anno]	14*355
11 Lettori DVD [kWh/anno]	11*344
11 PC con monitor [kWh/anno]	11*132
11 Stampanti laser [kWh/anno]	11*216
Illuminazione [kWh/(m ² anno)]	3,52
2 Ascensori ²³ [kWh/anno]	2*912,5

Tabella 3.18 – Caso 3: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.

Con $EP_{i,L(2010)} = R_r = 69,26$ kWh/m²anno e $R_s = 120^{24}$ kWh/m²anno le classificazioni diventano:

- secondo la UNI: A fino a 35 kWh/m²anno, B fino a 69, C fino a 120, D fino a 120, E fino a 170, F fino a 255, G oltre 255;
- secondo le linee guida: A+ fino a 26 kWh/m²anno, A fino a 44, B fino a 64, C fino a 87, D fino a 108, E fino a 145, F fino a 203, G oltre 203.

Il risultato della simulazione è il seguente:

E_H - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	46,71
E_C - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	30,44
E_{FER} - Contributo di energia <i>netta</i> fornito da fonti energetiche rinnovabili [kWh/m ² anno]	0,00
EP_H - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]	52,26
EP_C - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]	29,32
EP_W - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per produzione di ACS [kWh/m ² anno]	18,59
EP_T - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento e la produzione di ACS [kWh/m ² anno]	70,85
EP_{ILL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'illuminazione artificiale [kWh/m ² anno]	7,65
EP_{EL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'utilizzo di apparecchiature elettriche [kWh/m ² anno]	48,32
$EP_{i,L(2010)}$ [kWh/m ² anno]	69,26
Classificazione secondo linee guida nazionali ($EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL}$)	E
Classificazione secondo UNI EN 15217 ($EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL}$)	C
Classificazione secondo Regione Lombardia (EP_H)	B

Tabella 3.19 – Riepilogo risultati finali.

²³ Consumo stimato ipotizzando un ascensore da 10 kW funzionante un quarto d'ora al giorno.

²⁴ Indice medio ipotizzato relativo al parco nazionale destinato a palazzine residenziali.

La stima della spesa totale è la seguente:

- Gas metano:
 - Energia primaria = 70,85 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,074 €/kWh
 - Costo finale = 5,24 €/m²anno
- Elettricità:
 - Energia primaria = 85,30 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,30 €/kWh
 - Costo finale = 25,59 €/m²anno
- Complessivo: **30,83 €/m²anno**

3.5 Caso 4: edificio adibito ad uffici

Il quarto esempio presentato è una simulazione di una palazzina uffici, di geometria regolare e con le stesse caratteristiche costruttive della villetta illustrata nel primo esempio.

Questo edificio occupa una volumetria di circa 5900 m³, organizzata in 5 piani fuori terra e uno interrato, destinato esclusivamente a parcheggio, aventi superficie lorda di 385 m² e serviti da un unico vano scala centrale in cui alloggiano anche due ascensori a fune. La forma è allungata secondo la direzione Nord-Sud, con affacci prevalenti sulle altre due direzioni, e presenta una copertura piana. Essendo una rielaborazione dell'esempio illustrato nel primo caso, le tecnologie costruttive impiegate sono esattamente le stesse, proprio per confrontare i consumi di un edificio col medesimo involucro ma vissuto in maniera diversa; per questo motivo le differenze riguardano le restanti caratteristiche: dimensioni, condizioni interne di progetto e apparecchiature elettriche installate.

Anche in questo caso, per determinare la quantità di occupanti all'interno del complesso edilizio si è partiti da un indice medio di affollamento pari a 0,12 pp/m², ottenendo un totale di circa 216 impiegati. Sulla base di questo dato sono poi state determinate le utenze elettriche dell'ambiente: per ogni persona è stato calcolato una postazione tipica composta da PC e monitor a colori, mentre per quanto riguarda stampanti e fotocopiatrici si è pensato di considerarne una ogni 20 addetti; i telefoni FAX sono stati ipotizzati nel numero di 4, tenendo conto di ipotetiche linee multiple o di quattro attività differenti nello stesso stabile.

Per non rendere troppo articolata la simulazione di funzionamento, inoltre, è stato ipotizzato che tutte le attività residenti nella palazzina avessero i medesimi orari di lavoro, con inizio alle ore 8.30 del mattino fino alle 17.30 della sera, con una pausa pranzo di un'ora.

Pareti perimetrali [W/m ² K]	0,40
Pareti verso vano scale [W/m ² K]	0,59
Solaio di copertura [W/m ² K]	0,35
Solaio controterra [W/m ² K]	0,39
Solaio interpiano e su spazio non riscaldato [W/m ² K]	0,41
Serramenti vetrati [W/m ² K]	3,00

Tabella 3.20 – Caso 4: trasmittanze degli elementi di chiusura.

Superficie netta di piano [m ²]	360
Superficie netta riscaldata [m ²]	1800
Altezza interpiano [m]	3
Volume netto riscaldato [m ³]	4860
Superficie lorda di piano, compreso vano scale [m ²]	385,6
Altezza lorda riscaldata [m]	15,3
Volume lordo [m ³]	5899,1

Tabella 3.21 – Caso 4: dati relativi alla geometria dell'edificio.

Esposizione	S. finestrata lorda [m ²]	S. finestrata vetrata [m ²]	S. opaca disperdente lorda [m ²]	S. opaca disperdente netta [m ²]
Nord	0,00	0,00	192,78	192,78
Est	112,50	90,00	468,18	355,68
Sud	0,00	0,00	192,78	192,78
Ovest	112,50	90,00	468,18	355,68
Orizzontale	0,00	771,12	771,12	720,00
TOTALE	225,00	180,00	2093,04	1868,04
Rapporto S/V (S. opaca disperdente lorda TOT/Volume lordo)				0,35

Tabella 3.22 – Caso 4: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).

Occupazione [pp]	216
216 PC con monitor da ufficio [kWh/anno]	216*360
11 Stampanti laser [kWh/anno]	11*1,25
11 Fotocopiatrici [kWh/anno]	11*165
4 Telefoni FAX [kWh/anno]	4*0,8
Illuminazione, indice LENI [kWh/(m ² anno)]	42,5
2 Ascensori [kWh/anno]	2*300

Tabella 3.23 – Caso 4: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche²⁵ più significative.

Con $EP_{i,L(2010)} = R_r = 16,75 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$ e $R_s = 85^{26} \text{ kWh/m}^3\text{anno}$ le classificazioni diventano:

- secondo la UNI: A fino a 8 kWh/m³anno, B fino a 17, C fino a 51, D fino a 85, E fino a 128, F fino a 170, G oltre 170;
- secondo le linee guida: A+ fino a 13 kWh/m³anno, A fino a 17, B fino a 25, C fino a 35, D fino a 42, E fino a 53, F fino a 72, G oltre 72.

La simulazione ha avuto il seguente esito (ricordiamo che per gli edifici del terziario i parametri per la certificazione sono determinati in riferimento all'unità di volume e non a

²⁵ Consumi stimati per 300 giorni lavorativi. PC: Potenza nominale di 150 W per un uso stimato di 8 ore al giorno; stampanti: potenza nominale di 50 W per un uso stimato di 5 minuti al giorno; fotocopiatrici: potenza nominale di 1100 W per un uso stimato di 30 minuti al giorno; FAX: potenza nominale di 80 W per un uso stimato di 2 minuti al giorno; ascensore: potenza nominale di kW funzionante un'ora al giorno.

²⁶ Indice medio ipotizzato relativo al parco nazionale destinato a uffici.

quella di superficie, ma per avere un confronto anche tra destinazioni d'uso differenti riportiamo entrambe i valori):

E_H - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per riscaldamento [kWh/m ² anno]		36,30
E_C - Fabbisogno di energia <i>netta</i> per climatizzazione estiva [kWh/m ² anno]		19,55
E_{FER} - Contributo di energia <i>netta</i> fornito da fonti energetiche rinnovabili [kWh/m ² anno]		0,00
EP_H - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento	[kWh/m ² anno]	49,62
	[kWh/m ³ anno]	15,04
EP_C - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per climatizzazione estiva	[kWh/m ² anno]	18,83
	[kWh/m ³ anno]	6,97
EP_W - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per produzione di ACS	[kWh/m ² anno]	1,95
	[kWh/m ³ anno]	0,72
EP_T - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per riscaldamento e la produzione di ACS	[kWh/m ² anno]	42,57
	[kWh/m ³ anno]	15,77
EP_{ILL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'illuminazione artificiale	[kWh/m ² anno]	92,40
	[kWh/m ³ anno]	34,22
EP_{EL} - Fabbisogno di energia <i>primaria</i> per l'utilizzo di apparecchi elettrici [kWh/m ² anno]		38,29
$EP_{i,L(2010)}$ [kWh/m ³ anno]		16,75
Classificazione secondo linee guida nazionali		F
Classificazione secondo UNI EN 15217 ($EP_H, EP_C, EP_W, EP_{ILL}$)		D
Classificazione secondo Regione Lombardia (EP_H)		B

Tabella 3.24 – Riepilogo risultati finali.

La stima della spesa totale è la seguente:

- Gas metano:
 - Energia primaria = 34,66 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,074 €/kWh
 - Costo finale = 2,56 €/m²anno
- Elettricità:
 - Energia primaria = 151,50 kWh/m²anno
 - Indice economico = 0,30 €/kWh
 - Costo finale = 45,45 €/m²anno
- **Complessivo: 48,02 €/m²anno**

3.6 Possibili interventi di efficientamento energetico

Gli esempi illustrati visto fin'ora servono come punti di partenza sui quali poter fare delle considerazioni su quali potrebbero essere alcune possibili soluzioni di intervento per ridurre i consumi globali ed eventualmente permettere un salto di categoria energetica. Si è cercato inoltre, nel caso del residenziale, di offrire una minima varietà di categorie e di prestazioni per rappresentare il più possibile la casistica attuale e per vedere poi la differenza di risultati che si possono ottenere intervenendo su un edificio altamente energivoro oppure su uno di tipo medio. Per gli uffici invece è stato scelto di inserire solamente una simulazione relativa alle condizioni medie rilevate da apposite indagini statistiche.

Dopo questa introduzione si illustrano le varie ipotesi in merito ad interventi di miglioria. Innanzitutto sono stati scelti i parametri sui quali agire, ovvero quelli ritenuti più influenti per il

consumo energetico e quelli propri dell'indagine di questa trattazione; sono stati quindi identificati 3 aspetti chiave:

- la trasmittanza termica dell'involucro edilizio;
- il fabbisogno per l'illuminazione artificiale;
- il fabbisogno richiesto dalle altre apparecchiature elettriche.

Partendo dalla situazione base, si è proceduto alla variazione uno per uno di ogni parametro, apportando una riduzione (nel caso dei consumi) o un aumento (nel caso di prestazioni di elementi tecnici) dal 10% al 50% ogni dieci punti percentuali. Sono state quindi rifatte per ogni esempio le simulazioni con gli appositi software, variando ogni volta la trasmittanza termica di ognuno degli elementi (pareti, solai e infissi) del 10% in più rispetto alla simulazione precedente, aggiungendo poi una simulazione aggiuntiva con i valori di trasmittanza impostati ai valori di legge in vigore dal 2010. Quest'ultimo punto può essere utile per capire quale sia il divario caso per caso rispetto alle condizioni richieste attualmente per le prestazioni degli edifici. Oltre alla trasmittanza, però, sono stati considerati anche i carichi elettrici; questi sono rappresentati da una parte dall'illuminazione, rientrando nei parametri influenti sulla classificazione edilizia secondo le più recenti linee guida nazionali, e dall'altra gli ulteriori utilizzatori di energia elettrica, che però non concorrono alla determinazione della categoria energetica (a causa probabilmente della difficoltà nell'identificare un metodo di stima unificato). Questi altri due aspetti sono stati affrontati non a monte, come è stato fatto per l'involucro (variando la trasmittanza si sono visti gli effetti), ma a valle agendo direttamente sul consumo finale. In questo modo si valutano innanzitutto i margini di miglioramento e se sia realmente conveniente agire in questa direzione, mentre i metodi saranno sviluppati nei capitoli successivi.

Prima di proseguire è però necessario fare alcune precisazioni. È importante dire che una certa riduzione percentuale delle trasmittanze non è come ridurre della stessa proporzione i consumi elettrici, sia concettualmente sia a livello dell'investimento economico necessario; infatti, ridurre la trasmittanza di un pacchetto già realizzato non vuol dire demolirlo e ricostruirlo con le nuove prestazioni, ma si tratta di aggiunte o di piccole sostituzioni alla struttura esistente, conservando quindi parte delle lacune che esso presentava. Per capire come realmente sia difficile ottenere riduzioni di trasmittanze molto elevate basta pensare che l'intervento più attuato in relazione alle chiusure opache consiste in un "cappotto" esterno costituito da uno spessore aggiuntivo di materiale coibente, al più integrato da contropareti interne in cartongesso con altro isolante termico nell'intercapedine. Certamente nei casi più gravi questo dà un forte contributo percentuale, ma relativamente a situazioni "normali" i miglioramenti sono proporzionalmente più ridotti. Lo stesso discorso vale per i serramenti trasparenti, per cui i prodotti più moderni hanno raggiunto prestazioni quasi al limite e i margini di miglioramento futuri sono sempre minori. Se in partenza si ha ad esempio un elemento con telaio metallico e vetro singolo ($U = 4\div 5 \text{ W/m}^2\text{K}$) e lo si sostituisce con uno ad altissime prestazioni ($U < 2 \text{ W/m}^2\text{K}$) è evidente che le dispersioni specifiche possono ridursi anche del 50%, ma visto che in media ormai si ha a che fare con elementi dell'ordine dei $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ o anche meno diventa difficile superare il 25-30% di miglioramento (sempre limitatamente ai serramenti). Per le chiusure orizzontali è ulteriormente diverso, infatti se riguardo alla copertura le possibilità di intervento sono molteplici (si aggiungono strati al di sopra di quello strutturale senza particolari limiti dimensionali) per i solai interpiano o controterra le modifiche sono limitate e vincolate da altri elementi quali porte interne, altezze interne minime da rispettare, tubazioni impiantistiche a pavimento e quote di calpestio dei passaggi comuni. In linea di principio, ma in maniera più immediata, vale lo stesso per gli apparecchi elettrici (l'aumento di prestazioni è relazionato alla differenza di età), mentre per

l'illuminazione si tratta, escludendo la sostituzione di lampadine ad incandescenza con quelle fluorescenti, di una vera e propria gestione ottimizzata in quanto si tratta di un elemento attivo (mentre l'involucro è passivo) i cui consumi sono principalmente influenzati dall'uso che ne viene fatto. Detto questo, si riportano i risultati delle simulazioni.

3.6.1 Villetta unifamiliare

TRASMITTANZA PARETI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%	Dal 2010
U pareti perimetrali [W/m ² K]	0,80	0,72	0,64	0,56	0,48	0,40	0,34
U copertura [W/m ² K]	1,38	1,24	1,10	0,97	0,83	0,69	0,30
U solaio su cantina [W/m ² K]	1,74	1,57	1,39	1,22	1,04	0,87	0,33
U solaio controterra [W/m ² K]	2,10	1,89	1,68	1,47	1,26	1,05	0,33
U globale finestre [W/m ² K]	4,90	4,41	3,92	3,43	2,94	2,45	2,20
E _H [kWh/m ² anno]	251,32	237,45	211,20	184,53	156,70	130,15	72,55
E _C [kWh/m ² anno]	11,73	12,35	11,31	11,75	12,33	11,76	13,11
E _{FER} [kWh/m ² anno]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EP _H [kWh/m ² anno]	281,20	265,68	236,31	206,47	175,33	145,62	81,17
EP _C [kWh/m ² anno]	11,30	11,90	10,89	11,32	11,88	11,33	12,63
EP _W [kWh/m ² anno]	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	51,52	51,52	51,52	51,52	51,52	51,52	51,52
TOTALE EP	368,12	353,20	322,83	293,41	262,83	232,57	169,43
Variazione	0,00	-14,92	-45,29	-74,71	-105,29	-135,55	-198,69
Variazione %	0%	-4%	-12%	-20%	-29%	-37%	-54%
EP_{TOT} secondo linee guida	316,60	301,68	271,30	241,89	211,31	181,05	117,90
Classe secondo linee guida	F	F	F	F	E	E	C

Tabella 3.25 – Caso 1: effetti della riduzione delle trasmittanze termiche di ogni elemento tecnico.

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	308,95	308,95	308,95	308,95	308,95	308,95
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	6,89	6,12	5,36	4,59	3,83
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	51,52	51,52	51,52	51,52	51,52	51,52
TOTALE EP	368,12	367,35	366,59	365,82	365,06	364,29
Variazione	0,00	-0,77	-1,53	-2,30	-3,06	-3,83
Variazione %	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%
EP_{TOT} secondo linee guida	316,60	315,83	315,07	314,30	313,54	312,77
Classe secondo linee guida	F	F	F	F	F	F

Tabella 3.26 – Caso 1: effetti della riduzione del consumo per l'illuminazione.

CARICHI ELETTRICI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	308,95	308,95	308,95	308,95	308,95	308,95
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	51,52	46,37	41,22	36,07	30,91	25,76
TOTALE EP	368,12	362,97	357,82	352,66	347,51	342,36
Variazione	0,00	-5,15	-10,30	-15,46	-20,61	-25,76
Variazione %	0%	-1%	-3%	-4%	-6%	-7%
EP_{TOT} secondo linee guida	316,60	316,60	316,60	316,60	316,60	316,60
Classe secondo linee guida	F	F	F	F	F	F

Tabella 3.27 – Caso 1: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall'illuminazione.

3.6.2 Residenza plurifamiliare A

TRASMITTANZA PARETI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%	Dal 2010
U pareti perimetrali [W/m ² K]	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,34
U copertura [W/m ² K]	0,35	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,30
U solaio su cantina [W/m ² K]	0,41	0,37	0,33	0,29	0,25	0,21	0,33
U solaio controterra [W/m ² K]	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	0,20	0,33
U globale finestre [W/m ² K]	3,00	2,70	2,40	2,10	1,80	1,50	2,20
E _H [kWh/m ² anno]	48,05	43,72	38,12	30,50	27,20	24,54	36,68
E _C [kWh/m ² anno]	18,92	17,64	18,58	20,25	20,80	21,29	19,20
E _{FER} [kWh/m ² anno]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EP _H [kWh/m ² anno]	53,76	48,92	42,65	34,13	30,43	27,46	41,04
EP _C [kWh/m ² anno]	18,22	16,99	17,90	19,51	20,03	20,51	18,49
EP _W [kWh/m ² anno]	17,69	17,69	17,69	17,69	17,69	17,69	17,69
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	56,57	56,57	56,57	56,57	56,57	56,57	56,57
TOTALE EP	153,90	147,82	142,46	135,54	132,38	129,88	141,45
Variazione	0,00	-6,08	-11,44	-18,36	-21,52	-24,02	-12,45
Variazione %	0%	-4%	-7%	-12%	-14%	-16%	-8%
EP_{TOT} secondo linee guida	97,33	91,25	85,89	78,97	75,81	73,31	84,88
Classe secondo linee guida	C	C	C	B	B	B	C

Tabella 3.28 – Caso 2: effetti della riduzione delle trasmittanze termiche di ogni elemento tecnico.

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	89,68	89,68	89,68	89,68	89,68	89,68
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	6,89	6,12	5,36	4,59	3,83
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	56,57	56,57	56,57	56,57	56,57	56,57
TOTALE EP	153,90	153,13	152,37	151,60	150,84	150,07
Variazione	0,00	-0,77	-1,53	-2,30	-3,06	-3,83
Variazione %	0%	0%	-1%	-1%	-2%	-2%
EP_{TOT} secondo linee guida	97,3	96,56	95,80	95,03	94,27	93,50
Classe secondo linee guida	C	C	C	C	C	C

Tabella 3.29 – Caso 2: effetti della riduzione del consumo per l'illuminazione.

CARICHI ELETTRICI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	89,68	89,68	89,68	89,68	89,68	89,68
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	56,57	50,91	45,26	39,60	33,94	28,29
TOTALE EP	153,90	148,24	142,58	136,93	131,27	125,61
Variazione	0,00	-5,66	-11,31	-16,97	-22,63	-28,29
Variazione %	0%	-4%	-7%	-11%	-15%	-18%
EP_{TOT} secondo linee guida	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3
Classe secondo linee guida	C	C	C	C	C	C

Tabella 3.30 – Caso 2: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall'illuminazione.

3.6.3 Residenza plurifamiliare B

TRASMITTANZA PARETI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%	Dal 2010
U pareti perimetrali [W/m ² K]	0,18	0,16	0,14	/	/	/	0,34
U copertura [W/m ² K]	0,26	0,23	0,21	/	/	/	0,30
U solaio su cantina [W/m ² K]	0,36	0,32	0,29	/	/	/	0,33
U solaio controterra [W/m ² K]	0,39	0,35	0,31	/	/	/	0,33
U globale finestre [W/m ² K]	1,95	1,76	1,56	/	/	/	2,20
E _H [kWh/m ² anno]	46,71	41,41	36,25	/	/	/	36,68
E _C [kWh/m ² anno]	30,44	31,86	33,42	/	/	/	19,20
E _{FER} [kWh/m ² anno]	0,00	0,00	0,00	/	/	/	0,00
EP _H [kWh/m ² anno]	52,26	46,33	40,56	/	/	/	41,04
EP _C [kWh/m ² anno]	29,32	30,69	32,19	/	/	/	18,49
EP _W [kWh/m ² anno]	18,59	18,59	18,59	/	/	/	18,59
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	/	/	/	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	48,32	48,32	48,32	/	/	/	48,32
TOTALE EP	156,15	151,58	147,31	/	/	/	134,10
Variazione	0,00	-4,56	-8,83	/	/	/	-22,05
Variazione %	0%	-3%	-6%	/	/	/	-14%
EP_{TOT} secondo linee guida	107,83	103,26	98,99	/	/	/	85,78
Classe secondo linee guida	E	D	D	/	/	/	C

Tabella 3.31 – Caso 3: effetti della riduzione delle trasmittanze termiche di ogni elemento tecnico (le colonne barrate corrispondono a prestazioni non realmente ottenibili).

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	100,17	100,17	100,17	100,17	100,17	100,17
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	6,89	6,12	5,36	4,59	3,83
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	48,32	48,32	48,32	48,32	48,32	48,32
TOTALE EP	156,15	155,38	154,61	153,85	153,08	152,32
Variazione	0,00	-0,77	-1,53	-2,30	-3,06	-3,83
Variazione %	0%	0%	-1%	-1%	-2%	-2%
EP_{TOT} secondo linee guida	107,83	107,06	106,29	105,53	104,76	104,00
Classe secondo linee guida	E	E	E	E	E	E

Tabella 3.32 – Caso 3: effetti della riduzione del consumo per l'illuminazione.

CARICHI ELETTRICI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	100,17	100,17	100,17	100,17	100,17	100,17
EP _{ILL} [kWh/m ² anno]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
EP _{EL} [kWh/m ² anno]	48,32	43,49	38,66	33,82	28,99	24,16
TOTALE EP	156,15	151,31	146,48	141,65	136,82	131,99
Variazione	0,00	-4,83	-9,66	-14,50	-19,33	-24,16
Variazione %	0%	-3%	-6%	-9%	-12%	-15%
EP_{TOT} secondo linee guida	107,83	107,83	107,83	107,83	107,83	107,83
Classe secondo linee guida	E	E	E	E	E	E

Tabella 3.33 – Caso 3: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall'illuminazione.

3.6.4 Uffici

TRASMITTANZA PARETI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%	Dal 2010
U pareti perimetrali [W/m ³ K]	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,34
U copertura [W/m ³ K]	0,35	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,30
U solaio su cantina [W/m ³ K]	0,41	0,37	0,33	0,29	0,25	0,21	0,33
U solaio controterra [W/m ³ K]	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	0,20	0,33
U globale finestre [W/m ³ K]	3,00	2,70	2,40	2,10	1,80	1,50	2,20
E _H [kWh/m ³ anno]	13,44	11,65	10,08	8,59	7,07	5,64	10,29
E _C [kWh/m ³ anno]	7,24	8,35	8,72	9,16	9,65	10,21	7,96
E _{FER} [kWh/m ³ anno]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EP _H [kWh/m ³ anno]	15,04	13,04	11,28	9,61	7,91	6,32	11,52
EP _C [kWh/m ³ anno]	6,97	8,04	8,40	8,82	9,30	9,83	7,67
EP _W [kWh/m ³ anno]	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
EP _{ILL} [kWh/m ³ anno]	34,22	34,22	34,22	34,22	34,22	34,22	34,22
EP _{EL} [kWh/m ³ anno]	14,18	14,18	14,18	14,18	14,18	14,18	14,18
TOTALE EP	71,13	70,20	68,80	67,55	66,33	65,27	68,30
Variazione	0,00	-0,93	-2,33	-3,58	-4,80	-5,86	-2,83
Variazione %	0%	-1%	-3%	-5%	-7%	-8%	-4%
EP_{TOT} secondo linee guida	56,95	56,02	54,62	53,37	52,15	51,09	54,12
Classe secondo linee guida	F	F	F	F	E	E	F

Tabella 3.34 – Caso 4: effetti della riduzione delle trasmittanze termiche di ogni elemento tecnico.

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	22,73	22,73	22,73	22,73	22,73	22,73
EP _{ILL} [kWh/m ³ anno]	34,22	30,80	27,38	23,95	20,53	17,11
EP _{EL} [kWh/m ³ anno]	14,18	14,18	14,18	14,18	14,18	14,18
TOTALE EP	71,13	67,71	64,29	60,87	57,44	54,02
Variazione	0,00	-3,42	-6,84	-10,27	-13,69	-17,11
Variazione %	0%	-5%	-10%	-14%	-19%	-24%
EP_{TOT} secondo linee guida	56,95	53,53	50,11	46,69	43,26	39,84
Classe secondo linee guida	F	F	E	E	E	D

Tabella 3.35 – Caso 4: effetti della riduzione del consumo per l'illuminazione.

CARICHI ELETTRICI	Standard	- 10%	- 20%	- 30%	- 40%	- 50%
Totale usi termici e idrici (caso standard)	22,73	22,73	22,73	22,73	22,73	22,73
EP _{ILL} [kWh/m ³ anno]	34,22	34,22	34,22	34,22	34,22	34,22
EP _{EL} [kWh/m ³ anno]	14,18	12,76	11,34	9,93	8,51	7,09
TOTALE EP	71,13	69,71	68,30	66,88	65,46	64,04
EP _{ILL} [kWh/m ³ anno]	0,00	-1,42	-2,84	-4,25	-5,67	-7,09
EP _{EL} [kWh/m ³ anno]	0%	-2%	-4%	-6%	-8%	-10%
EP_{TOT} secondo linee guida	56,95	56,95	56,95	56,95	56,95	56,95
Classe secondo linee guida	F	F	F	F	F	F

Tabella 3.36 – Caso 4: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall'illuminazione.

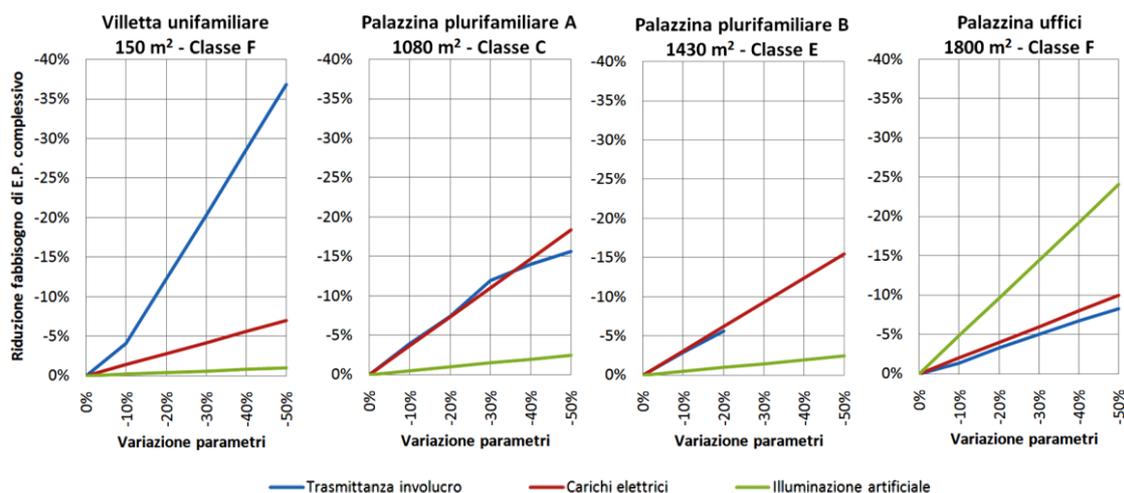


Figura 3.1 – Confronto dell’influenza dei tre parametri analizzati relativamente alle diverse destinazioni d’uso.

Nonostante la casistica analizzata sia molto limitata, e ricordando le precisazioni relative all’interpretazione dei dati, dalle ipotesi di intervento proposte si possono comunque trarre alcune considerazioni di massima.

Dai grafici riportati in *Figura 3.1* è infatti possibile osservare come in una villetta singola, in cui il rapporto S/V (superficie disperdente/volume lordo) è molto maggiore rispetto a palazzine di grandi dimensioni (qualunque sia la destinazione d’uso), il consumo energetico sia fortemente condizionato dalle prestazioni della “scatola” di chiusura del fabbricato, e in maniera tanto maggiore quanto peggiori sono le tecnologie costruttive; il secondo contributo in ordine di importanza è rappresentato dai carichi di tipo elettrico, seguiti poi dall’illuminazione che, essendo molto minore rispetto agli altri due in un edificio residenziale unifamiliare, possiede un potenziale di miglioramento molto ridotto sia in termini assoluti sia soprattutto in termini percentuali. Va aggiunto in ogni caso che la situazione di partenza vedeva un involucro di pessime condizioni, del tipo in uso decine di anni fa, e quindi era prevedibile che anche con interventi minimi sulle trasmittanze si sarebbero avuti miglioramenti molto marcati; tuttavia l’incidenza dei carichi elettrici diversi dall’illuminazione rimane comunque significativa ed è un fattore che dipende assai meno dall’età dell’edificio e più dalle abitudini di vita degli occupanti (nelle simulazioni si è supposto un “allestimento elettrico” conforme al periodo di costruzione dell’immobile, ma questo non esclude successive implementazioni).

Passando poi a costruzioni di dimensioni più ampie e anche di prestazioni migliori, (in linea con quelle medie degli ultimi venti anni circa) il discorso assume una piega differente, infatti la parte di chiusura perde di importanza in maniera significativa e parallelamente aumenta di molto l’incidenza delle apparecchiature elettriche generiche assieme a una minima parte per l’illuminazione. Confrontando le due palazzine plurifamiliari si nota che a livello globale il fabbisogno specifico di energia primaria è piuttosto simile, tuttavia la palazzina A (classe energetica C), rispetto alla palazzina B (classe energetica E), consuma di meno per usi termici e idrici ma di più per le apparecchiature elettriche; nonostante le tecnologie di chiusura abbiano prestazioni inferiori, il primo edificio ha una forma più compatta e quindi presenta meno superfici disperdenti rispetto al volume totale, mentre il profilo più segmentato del secondo penalizza in parte i benefici offerti della migliore resistenza termica dell’involucro. Per quanto riguarda la parte elettrica, invece, si può dire che approssimativamente gli effetti di una gestione razionale dei carichi sarebbero gli stessi; infatti, nonostante il grafico in sé dica

diversamente, vale lo stesso discorso fatto per la trasmittanza: la medesima variazione percentuale assume una consistenza diversa in relazione alla quantità di partenza, e poiché la dotazione stimata per gli appartamenti del primo edificio è maggiore rispetto a quella del secondo i miglioramenti nel complesso sono sì maggiori, ma a parità di condizioni di partenza sarebbero molto simili (infatti la differenza di incidenza è poca, come poca è la diversità nei consumi elettrici nella situazione base).

Va sottolineato per correttezza che in queste simulazioni, per quanto riguarda gli ambiti residenziali, il consumo stimato per l'illuminazione artificiale era rappresentato da un indice comune ai tre edifici, ricavato statisticamente e legato alla superficie unitaria quindi indipendente dalla dimensione totale; nella realtà i consumi al m² sono variabili da caso a caso e quindi i commenti relativi a questo parametro sono utili principalmente per diversificare le varie destinazioni d'uso piuttosto che le metrature.

In ogni caso si potrebbe dire che, aumentando le dimensioni, il margine di miglioramento percentuale diminuisce leggermente per tutti e tre i parametri analizzati, con una diminuzione dell'incidenza della trasmittanza di poco superiore a quella degli altri due. Questo conferma un'altra volta che il consumo legato agli utilizzi elettrici e all'illuminazione artificiale in ambito residenziale è legato più al tipo di utilizzo dell'ambiente piuttosto che alla sua fisicità, e quindi, una volta fissato il contesto, diventa rilevante puntare a una buona gestione del consumo elettrico.

Per quanto riguarda l'edificio destinato ad uffici, piuttosto che confrontare situazioni analoghe con dimensioni differenti si sono valutate soprattutto le differenze rispetto ad edifici residenziali, quindi è stato esaminato un solo caso rappresentativo dell'intero parco nazionale. Ciononostante questo è sufficiente per mettere in luce diverse disuguaglianze, la prima su tutte è l'importanza che in questi ambienti assume l'illuminazione artificiale. Rappresentando circa la metà del fabbisogno complessivo viene immediato capire come mai riducendone il consumo della stessa quota parte di una residenza si ottengano maggiori benefici complessivi; per edifici destinati ad uffici quindi è senza dubbio utile, in caso di efficientamento energetico di uno stabile esistente, privilegiare l'impianto di illuminazione artificiale. I metodi sono differenti, ma prima di tutto è indispensabile agire sulle sorgenti luminose in caso di presenza di lampade ad incandescenza o alogene, sostituendole con altre a basso consumo e ad intensità regolabile (anche se negli uffici si usano già da tempo maggiormente le fluorescenti, ma comunque questo rimane sempre il primo punto da trattare); il passo successivo è quello di installare un sistema di controllo e gestione automatica della luminosità, differenziata sicuramente tra i vari locali e preferibilmente anche all'interno dei locali stessi, suddividendo gli apparecchi illuminanti in più linee in base alla distanza dalle finestre, ottenendo così un livello di illuminamento il più uniforme possibile e sfruttando al massimo la quota di luce naturale. Per i restanti due contributi, nonostante nel caso base la quota di consumo relativa agli usi termici e idrici sia di due terzi rispetto a quella destinata agli apparecchi elettrici (precisamente il 30% per i primi e il 20% per gli altri) e visto che ipoteticamente si è già pensato di intervenire sull'impianto di illuminazione, vale sicuramente la pena estendere il lavoro a tutto l'impianto elettrico, aggiungendo un controllo dei carichi che ottimizzi a livello globale l'approvvigionamento di energia elettrica, rilevi eventuali sprechi e intervenga per eliminarli o ridurli.

3.7 Osservazioni in merito alle possibili soluzioni

Nell'abitare gli edifici, di qualsiasi tipo, sono diversi i comportamenti abituali dell'utenza che favoriscono inutili sprechi di energia. Ad esempio, spesso l'illuminazione artificiale viene attivata prontamente quando se ne presenta la necessità ma non altrettanto rapidamente la si spegne quando quella naturale risulta sufficiente per l'illuminamento degli spazi. Oppure spesso capita di abbandonare il locale (sia esso la propria abitazione o l'ufficio di competenza) per un intervallo di tempo più o meno prolungato dimenticando di spegnere le luci, le quali rimangono accese fino al proprio ritorno che può essere anche dopo svariate ore se non addirittura il giorno seguente. E ancora, i dispositivi di oscuramento, chiamati in causa quando la radiazione solare diretta comporta un fastidioso abbagliamento agli occupanti, raramente vengono riadattati nel momento in cui la causa del discomfort non è più presente (lasciando inoltre attiva l'illuminazione artificiale).

Molteplici possono essere anche gli esempi di "abusi" che comportano maggiori consumi per il riscaldamento o il raffrescamento degli ambienti: finestre aperte per ricambiare l'aria con terminali dell'impianto di condizionamento attivati, che oltre a disperdere calore (o farlo entrare) fanno sì che il ricambio d'aria venga prolungato oltre il necessario; infatti la compensazione termica generata dai terminali attivi ritarda la sensazione di discomfort che dovrebbe ricordare all'utente di chiudere gli infissi. A questo si aggiungono poi ambienti condizionati senza presenza di persone e tante altre cattive abitudini. Tali aspetti, troppo spesso trascurati, sono in realtà responsabili di effetti energetico-ambientali abbastanza rilevanti. Da un lato, essi sono prevalentemente riconducibili ad atteggiamenti di noncuranza da parte degli utenti (e come è stato già affermato questo vale particolarmente per gli edifici pubblici, per i quali gli utenti non sono gli intestatari della bolletta energetica) ma, dall'altro lato, sono anche dovuti alla mancanza di adeguati sistemi di regolazione e controllo dell'erogazione energetica locale. Ad esempio capita spesso di trovarsi in un ambiente eccessivamente riscaldato, privo di termostato di regolazione autonomo, e di dover provvedere allo smaltimento del calore in eccesso aprendo le finestre della stanza. Oppure può succedere di disporre di un solo interruttore che comanda la totalità dei corpi illuminanti presenti in ambiente quando, diversamente, in alcune giornate o momenti della giornata sarebbe sufficiente attivare parzialmente le lampade per raggiungere il livello di illuminamento desiderato.

Andando oltre l'aspetto comportamentale, che dovrebbe far parte del senso civico e della coscienza di tutti noi, e ripetendo la necessità indiscussa di un certo adeguamento prestazionale degli impianti già realizzati, ne deriva che una tra le soluzioni più efficaci a questo genere di problemi può essere rappresentata senza dubbio da un maggiore ricorso a sistemi di automazione della gestione del clima e dei carichi elettrici. Attraverso questa tecnologia è infatti possibile sorvegliare un elevato numero di funzioni presenti in qualsiasi tipo di ambiente edilizio, con comandi attivabili sia manualmente sia automaticamente in base a degli input inviati da appositi sensori (alimentati anch'essi a corrente elettrica, ininterrottamente ma a bassissimo assorbimento energetico); grazie a ciò, situazioni come finestre dimenticate aperte potrebbero essere risolte con la chiusura automatica delle stesse dopo un certo periodo di tempo (o magari anche in caso di pioggia), o comunque si rimedierebbe ad un eccesso di consumi intervenendo direttamente sull'interruzione locale dell'impianto di climatizzazione. Ma in che misura tutto questo sarebbe possibile? Questa è una delle domande a cui cercheremo di dare risposta nei prossimi capitoli.

Capitolo 4

La domotica: un incentivo al comfort e una soluzione al problema del consumo energetico

Rispetto a qualche anno fa, oggi sono molti di più coloro che, per un motivo o per l'altro, si sono imbattuti nel termine "domotica", entrato di diritto a far parte di discussioni legate all'edilizia e riguardanti temi come l'innovazione tecnologica e il risparmio energetico. Ma siamo sicuri di sapere bene di cosa si stia parlando? Bene, poiché come per ogni novità non sempre si possiedono le basi conoscitive adeguate (a volte anche gli specialisti in un primo momento hanno qualche lacuna), vediamo di approfondire il tema cercando di capirci qualcosa di più.

Per cominciare, è opportuno chiarire l'origine della parola in sé: la pronuncia italiana deriva dalla traduzione del termine francese *domotique*, che racchiude in sé la parola latina *domus* (il che fa riferimento all'ambiente domestico, ma che di fatto può essere esteso ad altri settori) e il termine francese *informatique*, che significa "informatica". Nella letteratura dedicata, tuttavia, per indicare il settore dell'automazione domestica è facile trovare altri termini come *home automation*, *home systems*, *smart house*, ecc., che a volte sono utilizzati impropriamente ma che in generale indicano tutti un utilizzo delle applicazioni dell'elettronica e delle tecnologie informatiche rivolto agli apparati e agli impianti di un'abitazione.

La domotica è nata con l'ambizioso obiettivo di migliorare sotto ogni aspetto la "qualità dell'abitare", attraverso la realizzazione di un ambiente nel quale si potesse vivere meglio ed essere sicuri, nel quale venissero mantenuti livelli di benessere e di salute sufficientemente elevati, un ambiente privo di barriere ostili e che consentisse di risparmiare energia e rispettare l'ambiente. La domotica si presenta quindi come una soluzione volta a controllare tutte le utenze elettriche disponibili in un ambiente, e questo è possibile o servendosi di programmi prestabiliti dall'utente all'interno del perimetro dell'ambiente oppure tramite comandi inviabili dall'esterno. Questo sistema ha lo scopo di sollevare l'utente da operazioni ripetitive e di sostituirlo, in sua assenza, eseguendo i comandi preventivamente memorizzati e provvedendo alla sorveglianza generale dell'ambiente, come una sorta di "pilota automatico".

Tramite il proprio PC, o tramite delle specifiche pulsantiere, o addirittura dal proprio telefono cellulare è possibile far eseguire dei comandi ad ogni terminale sia in maniera singola sia tramite delle impostazioni di gruppo, regolando non solo degli avviamenti/arresti ma anche delle regolazioni graduali; si possono inviare comandi istantanei (all'input corrisponde immediatamente l'output) oppure comandi ritardati o programmati, nella più totale libertà d'azione.

L'integrazione fra tecnologia e ambiente abitato però solleva alcuni problemi di una certa delicatezza: un sistema domotico deve infatti garantire semplicità, economicità e affidabilità, deve potersi inserire armonicamente entro il contesto architettonico, deve potersi adattare flessibilmente sia alle diverse esigenze abitative sia al diverso grado di consapevolezza tecnologica degli utenti.

In questo capitolo non si vuole approfondire l'argomento della domotica nella sua totalità, ma ci si concentrerà solamente sulle sue applicazioni e sull'uso che ne viene fatto per gli obiettivi preposti; in questo senso, verrà fatta una carrellata delle funzioni che la domotica può offrire, soffermandosi su quelle legate al consumo energetico, tralasciando invece gli aspetti puramente tecnici di questo sistema come il tipo di cablaggio, i protocolli di comunicazione, ecc., per i quali si rimanda a testi specifici.

4.1 Il nuovo concetto di "edificio intelligente"

Uno degli obiettivi fondamentali dell'uomo è sempre stato in sintesi quello di andare alla ricerca di una vita migliore. La domotica, così come hanno fatto in precedenza l'automazione industriale e la Building Automation, finirà per portare enormi benefici sia in termini di comfort sia soprattutto in termini di sicurezza, anche se per ora vi è un po' di riluttanza da parte dei consumatori dovuta principalmente al fatto che agli inizi (ma sottolineiamo "agli inizi") le tecnologie ovviamente erano imperfette e vi era una forte disomogeneità nel mercato dei componenti; finché non si supererà questo atteggiamento piuttosto pregiudiziale, purtroppo, questa tecnologia non potrà essere compresa e sfruttata al meglio.

Per dare un'idea delle potenzialità della domotica si può dire che la definizione di un sistema di questo tipo passa anche attraverso il concetto di intelligenza. Con questo termine si intende, per le apparecchiature, la capacità di "comprendere" in senso lato in maniera simile a quella normalmente intesa per le persone.

Il valore aggiunto che il concetto di intelligenza porta in sé, a differenza della mera comprensione, è anche la capacità di trasmettere a sua volta un'informazione verso una o più direzioni. Per esempio, un attuatore elettrico come potrebbe essere un apparecchio illuminante, ha la capacità di comprendere materialmente un comando di accensione che arriva da un interruttore, ma non di trasmetterlo; un sensore, invece, qualunque esso sia, ha in sé la capacità di ricevere un'informazione relativa a uno stato fisico e di trasmetterla senza elaborazione a un altro ente; esso possiede quindi la capacità sia di ricevere un'informazione da una o più direzioni, sia di trasmetterla verso una o più direzioni. In questo modo, qualunque evento si verifichi, per esempio in relazione alla fornitura di energia, a un guasto elettromeccanico, o legato anche a circostanze esterne all'apparecchiatura attiva in quel momento, il sistema è in grado di "reagire con intelligenza".

Circa alla metà degli anni Ottanta, a cui risalgono i primi esempi di automazione dell'ambiente domestico, un edificio veniva definito "intelligente" in relazione esclusivamente alla sua dotazione tecnologica, ovvero alla presenza di controlli e automatismi, e all'efficienza di gestione dell'edificio. Col passare degli anni, l'attenzione si è estesa all'oggetto nella sua totalità, mettendo in rilievo l'edificio che "funziona bene", alla soddisfazione dell'utente e alle ripercussioni sul suo ambiente di lavoro e di vita. La più recente diffusione di una cultura ambientalista ha poi dato un ulteriore contributo, includendo nelle definizioni concetti relativi al bilancio energetico e al riciclaggio dei materiali di costruzione, cioè a una maggiore integrazione con quei sistemi passivi volta a soddisfare bisogni essenziali quali l'illuminazione e l'aerazione naturale.

Si arriva pertanto ai giorni nostri, in cui un edificio può essere inteso come "intelligente" nel momento in cui riesce ad offrire il massimo di qualità agli occupanti con il minimo di conseguenze sull'ambiente; questo è possibile prevedendo un sistema di controllo centralizzato in grado di ottimizzare il funzionamento di tutti i servizi. In sostanza, illuminazione, sicurezza, riscaldamento, ventilazione, aria condizionata, sistemi antincendio,

ecc. dovrebbero funzionare in maniera coordinata e la rete per il sistema di controllo dovrebbe integrarsi con quella per i sistemi di comunicazione e per le reti informatiche, garantendo da un lato un maggiore soddisfacimento delle esigenze dell'utente e dall'altro un minore spreco di energia.

Vediamo ora di scoprire quali sono le numerose opportunità di installazione che la domotica ci offre. Nei paragrafi seguenti mostreremo in che modo si possono integrare ed implementare alcune delle funzioni tradizionali e quali sono invece le funzionalità nuove ed esclusive di questa tecnologia.

4.2 Le applicazioni in ambito energetico

4.2.1 Il controllo del benessere

Il corpo umano è una macchina perfetta, capace di adattarsi alle condizioni circostanti in maniera ottimale sia per difendere la propria integrità fisica sia per svolgere un'ampia varietà di lavori. Si pensi ad esempio alla meticolosità con cui riusciamo a mantenere la nostra temperatura interna a un determinato livello (con tolleranze di frazioni di grado) attraverso reazioni "automatiche" come la sudorazione o i brividi (contrazioni ripetute dei muscoli che sprigionano calore), oppure a come modifichiamo istantaneamente alcune parti dell'occhio in funzione del livello di luminosità dell'ambiente che ci circonda. Proprio per queste ragioni, però, quanto più è necessario un adattamento tanto più è il lavoro interno che il nostro corpo deve eseguire, con conseguente dispendio di energie. Poiché comfort vuol dire benessere, e tipicamente la fatica non è associata ad esso, è logico pensare che le migliori condizioni saranno quelle in cui la "fatica"²⁷ corporea per l'adattamento sarà minore.

A questo proposito sono stati numerosi gli studi a riguardo delle condizioni standard di benessere, i quali hanno cercato attraverso indagini statistiche di capire quali fossero le variabili che ne influenzano la percezione e, successivamente, assegnare ad esse dei valori univoci corrispondenti ad un "ambiente moderato standard". A fronte degli studi fatti, è emerso che la sensazione di benessere (limitata ad un'attività sedentaria, per avere dati omogenei) è influenzata dalle seguenti caratteristiche dell'ambiente interno:

- temperatura e velocità dell'aria;
- temperatura operante²⁸;
- umidità relativa.

Tuttavia questo ancora non è sufficiente a garantire il benessere in un ambiente chiuso. Se sotto questi aspetti è possibile infatti stabilire le condizioni termiche tendenzialmente accettabili, non si può non considerare l'aspetto della salubrità degli ambienti, da associarsi in primis alla purezza dell'aria (ovviamente non in senso assoluto ma entro specifici limiti di accettabilità) e poi ad aspetti quali la luminosità naturale. Per quanto concerne la composizione dell'aria sono fondamentali i pareri di chimici ed esperti che stabiliscono quali possono essere le sostanze respirabili e in che quantità; relativamente al fattore visivo, se da

²⁷ Nello specifico, il concetto di benessere è da associarsi all'entità dello scambio termico uomo-ambiente; sotto questo aspetto, l'ambiente "neutro" è quello per cui lo scambio termico è nullo, mentre la percezione di un ambiente caldo o freddo (discomfort) rappresenta un bilancio spostato verso l'energia ricevuta nel primo caso e verso quella ceduta nel secondo.

²⁸ Questo è un parametro sintetico frutto della combinazione del contributo convettivo fornito dall'aria interna e da quello radiativo fornito dall'ambiente (ossia dalle pareti), ponderati rispetto ai relativi coefficienti di scambio termico.

un lato la vista verso l'esterno contribuisce a rendere più sana e piacevole la permanenza in un ambiente chiuso, dall'altro la luce solare è sicuramente da preferire a quella artificiale per compiere adeguatamente e col minore sforzo quelle attività che richiedono un certo impegno visivo, ancor più se legate ad attività lavorative o di studio. In questo senso, quindi, il concetto di comfort non rimane strettamente correlato alle comodità di casa propria ma è da associarsi anche a un discorso di produttività. E' ormai risaputo che una elevata qualità dei luoghi di lavoro favorisca l'attività dei dipendenti, diminuendo lo stress e l'affaticamento psichico.

Si può quindi concludere che per garantire un certo livello di comfort è indispensabile fare riferimento all'impianto di climatizzazione/ventilazione e a quello di illuminazione (necessario laddove quella naturale non fosse sufficiente). Tali sprechi saranno approfonditi nelle prossime righe.

4.2.1.1 Temperatura, umidità e ricambi d'aria

Quando si parla di "comfort" di un ambiente, la prima cosa a cui si pensa è la temperatura interna. Se tradizionalmente questo concetto viene associato all'impianto di riscaldamento, è anche vero che negli ultimi tempi sta aumentando sempre di più il ricorso a sistemi automatici anche per il raffrescamento estivo, nonostante si continui a vedere questo secondo aspetto come aggiuntivo rispetto alla dotazione impiantistica standard. L'obiettivo che un sistema di climatizzazione automatizzato si pone è essenzialmente quello di realizzare le migliori condizioni di benessere igro-termico (infatti agisce sia sulla temperatura sia sull'umidità relativa interna) assieme al contenimento dei consumi energetici. Ovviamente quest'ultimo fattore non può prescindere da una buona realizzazione dell'edificio in sé e dalla scelta di tecnologie a fonti rinnovabili, tuttavia la gestione razionale dell'impianto sopperisce agli sprechi (e non sono pochi) causati da un utilizzo finale spesso superficiale e poco attento ai dettagli. Un sistema concretamente "intelligente", quindi, deve consentire di integrare una molteplicità di funzioni atte al miglioramento delle prestazioni generali del sistema, funzioni che in questo caso possono essere la gestione di pannelli solari, di recuperatori di calore, di tende esterne e tapparelle interne per regolare i guadagni solari, oltre che dei terminali propri dell'impianto in maniera da avere una regolazione autonoma per ogni zona.

Entrando finalmente nel discorso prettamente domotico, è utile dire che uno dei primi approcci di automazione del riscaldamento è stato quello del cronotermostato, ossia l'evoluzione del tradizionale termostato manuale. Tuttavia anche in quel caso non si può ancora parlare di domotica, in quanto le limitazioni del sistema non consentono un'adattabilità completa alla variabilità delle abitudini di vita. Ad esempio, ogni volta che si verificano delle situazioni discostanti da quelle standard è necessario agire manualmente sulla programmazione, in molti casi perdendo la configurazione precedente (a volte i settaggi sono limitati a poche opzioni).

Inoltre, questo tipo di controllo opera esclusivamente sulla temperatura, senza tenere conto di altri fattori influenti come l'umidità interna²⁹ e il fattore di irraggiamento esterno (regolato dai sistemi di schermatura e utile in estate per ridurre in un primo tempo e in maniera passiva il carico da smaltire). Per questo motivo, la dotazione impiantistica si compone di:

- sensori di temperatura, per interni e per esterni;
- termoprogrammatori;
- attuatori (elettropompe, ventilconvettori, elettrovalvole, ecc.);

²⁹ Il vapore acqueo presente nell'aria, in seguito all'energia sprigionato in fase di condensazione, aumenta la percezione del calore (l'esempio tipico è quello dell'afa estiva). Per questo motivo, un impianto di climatizzazione completo serve anche a deumidificare l'aria in ingresso in estate, agendo invece al contrario in inverno.

- condivisione di altri sensori di input utilizzati principalmente per altre funzioni.

L'utilizzo di questo insieme di dispositivi serve sia a monitorare l'andamento delle variabili ambientali, per poter conoscere la situazione reale in ogni momento, sia ad inviare opportuni segnali di intervento finalizzati all'attivazione degli apparecchi relativi al tipo di intervento. Ma non solo; la logica BUS, infatti, consente di realizzare funzioni che coinvolgano contemporaneamente diversi sistemi integrati tra loro. Ad esempio si può pensare di programmare l'impianto in modo che sospenda la termoregolazione in caso di assenza prolungata di persone all'interno della zona, servendosi dei segnali inviati dai sensori di presenza usati per lo più per la funzione *security*, oppure, sempre in collaborazione con l'impianto antifurto, impostare uno scenario che preveda la modifica dei valori diversi di set-point dell'impianto di climatizzazione quando sia attivato l'impianto di sicurezza.

Come si può ben capire, la flessibilità di questo sistema è estremamente elevata; questo processo automatizzato che coordina gli apparecchi finalizzati al benessere consente di ottenere consumi energetici inferiori rispetto ad un utilizzo separato di impianti di tipi tradizionale (uno per il riscaldamento, uno per il raffrescamento, uno per la ventilazione). Ad ogni modo, affinché questo sia possibile è necessario che tutti i componenti chiamati in causa siano in grado di comunicare tra loro per scambiarsi le informazioni, opportunamente elaborate. Ecco che a soluzione di ciò interviene la rete cablata di tipo BUS o addirittura senza fili (*wireless*).

Nello specifico, poiché un impianto di climatizzazione è costituito da unità centrali e terminali distribuiti lungo la rete, è necessario usare due sistemi di controllo differenti: uno, più complesso, costituito da unità dotate di potenti microprocessori e installate in prossimità delle prime, l'altro, più semplice, costituito da moduli digitali collegati ai terminali e programmati per inviare e ricevere un ridotto numero di informazioni. Questo metodo è tanto più conveniente quanto più estesa è la rete, per cui è utilizzato maggiormente nei condomini o nei complessi residenziali; nelle piccole unità abitative, invece, non è necessaria questa divisione in due parti.

L'ultimo aspetto facente parte della macroarea "climatizzazione" è quello legato alla ventilazione necessaria per garantire un adeguato ricambio d'aria. Se negli edifici di una volta una certa circolazione naturale era garantita dagli "spifferi" d'aria attraverso i giunti un po' grossolani dei serramenti, oggi non è più così; le nuove tecnologie costruttive hanno infatti portato ad un tipo di costruzioni sempre più "sigillate", in cui il giusto ricambio dell'aria esausta con altra nuova proveniente dall'esterno è affidato sempre più ad impianti meccanici. La loro funzione è quella quindi di immettere aria esterna negli ambienti chiusi per diluire gli inquinanti inevitabilmente prodotti; il controllo, di tipo automatico, avviene mediante sensori capaci di rilevare la qualità dell'aria istante per istante (tarati sulle concentrazioni massime di determinate sostanze, sia provenienti dall'esterno sia prodotte internamente).

Questo tipo di impianto, pensato inizialmente per evitare i forti sprechi negli ambienti industriali ad occupazione fortemente variabile (nei quali si adotta spesso un controllo di tipo On/Off a portata costante), si sta oggi diffondendo anche nelle piccole realtà residenziali grazie ad apparecchi efficienti e dai costi tutto sommato ragionevoli. In questo caso, però, si ha una modulazione della portata d'aria esterna da immettere, gestita elettronicamente sia in funzione della concentrazione di inquinanti sia in base all'affollamento dell'ambiente (definito da sensori di presenza).

Questi sottosistemi fanno parte di un più ampio sistema domotico coordinato, quindi la quasi totalità delle funzioni disponibili è attivabile anche in remoto tramite PC o cellulare; qualora ci si trovasse nella necessità di intervenire a distanza, infatti, sarebbe possibile comunicare con

l'unità centrale attraverso appositi portali web o grazie all'invio di SMS (se questa opzione è installata), sia per modificare la gestione in base alle proprie esigenze sia solamente a scopo preventivo e di controllo, in modo da stare più tranquilli e tenere sempre sott'occhio i propri consumi.

4.2.1.2 Illuminazione

L'aspetto illuminotecnico è parte integrante di quello termico al fine di garantire le migliori condizioni di comfort interno di un ambiente. Il discorso poi può riguardare la parte di illuminazione naturale o il contributo artificiale, ma in ogni caso sarà necessario un controllo su entrambi gli aspetti in quanto uno, quello relativo alla quota artificiale, è la compensazione dell'altro al fine di ottenere dei livelli adeguati; di conseguenza è auspicabile sfruttare al massimo la parte naturale, che è gratuita, limitando l'integrazione con mezzi artificiali solo nei casi di reale necessità. E' infatti prevedibile che la sera e di inverno, quando le ore di luce non sono molte, l'accensione delle luci interne è inevitabile, tuttavia capita spesso di vedere ambienti illuminati artificialmente anche in giornate soleggiate, magari perché per evitare gli abbagliamenti si preferisce chiudere le tapparelle a favore di una più diffusa illuminazione interna.

Chiariti questi concetti, i metodi di controllo sono diversi, e anche in questo caso ci si può appoggiare alla sensoristica prevista principalmente per altri usi. Uno su tutti è la regolazione della luminosità interna in funzione di quella esterna, azionando gli apparecchi illuminanti qualora il livello garantito dal contributo solare non sia sufficiente a raggiungere i valori impostati. Questa operazione può però svolgersi in diversi modi, il più semplice dei quali è quello a carattere generale, che prevede un solo sensore di luminosità esterna e un attuatore ON/OFF unico per tutti gli ambienti occupati. Ci rendiamo conto però che non tutti i locali di un edificio sono sempre occupati alla stessa maniera, quindi un intervento di questo tipo sarebbe altamente dispersivo; il passo successivo è quindi quello di ripartire lo spazio complessivo in zone o addirittura in singoli locali, potendo quindi agire solamente sugli spazi effettivamente occupati. La soluzione completa, quella che cioè si può definire "intelligente", consiste nella ricezione di input sia da sensori esterni sia da sensori interni (non solo quelli specifici di luminosità ma anche quelli già installati per altre funzioni, oppure timer, moduli scenario, ecc.) e un'attuazione non esclusivamente di accensione e spegnimento ma di regolazione; sfruttando infatti particolari attuatori (i cosiddetti *dimmer*) è possibile regolare l'afflusso di corrente negli apparecchi illuminanti al fine di ottenere intensità luminose variabili.

Un'altra funzionalità di un sistema di controllo è la possibilità di gestire l'accensione degli apparecchi in periodi prestabiliti; questa caratteristica si adatta principalmente agli spazi esterni e alle zone interne non naturalmente illuminate con lo scopo di aumentare la sensazione di sicurezza. Ad esempio, nel temporizzatore possono essere caricati dei dati relativi agli orari di alba e tramonto a cadenza mensile o settimanale, in modo da attivare automaticamente l'illuminazione nei periodi di buio; altrimenti si può pensare di sfruttare questi dispositivi anche solo per evitare che le luci rimangano accese inutilmente: ed esempio, nei locali di passaggio, a seguito di un'accensione manuale o con altri dispositivi può intervenire lo spegnimento automatico dopo un certo periodo, lungo a sufficienza in funzione della permanenza stimata in quello spazio.

Per quanto riguarda lo sfruttamento della luce naturale, le opzioni di intervento riguardano esclusivamente i sistemi di oscuramento; se dal punto di vista del comfort visivo è consigliabile usare principalmente la luce naturale, da quello della climatizzazione a volte è opportuno ridurre l'ingresso della radiazione solare per non riscaldare eccessivamente gli ambienti interni (calore che dovrà poi essere smaltito con ulteriori consumi energetici). Quindi, a fronte di

segnali inviati da fotosensori, si può avere una movimentazione automatica delle tapparelle elettriche o delle tende esterne al fine di aumentare la luminosità interna, oppure una combinazione diversa in caso di troppa luminosità per diminuire la quota di radiazione diretta a favore di quella diffusa (estensione delle tende esterne e sollevamento di quelle interne).

A elencarle tutte sarebbero veramente tante le opzioni e le combinazioni ottenibili grazie all'automatizzazione dell'impianto, e il motivo principale sta proprio nel fatto che grazie alla domotica non esistono più separazioni nette tra le funzioni richieste in un edificio. L'integrazione in questo verso è completa, e tutti i componenti, attuatori, sensori, centraline e così via sono intercorrelati tra di loro sia fisicamente (tramite un unico cavo coassiale BUS opportunamente diramato) sia logicamente. Quest'ultimo è proprio l'aspetto che contraddistingue un'installazione domotica da una rete elettrica tradizionale: la connessione logica.

Se in un impianto elettrico comune, per poter accendere una lampadina da due o più postazioni è necessario collegare³⁰ punto-punto i dispositivi di comando con il rispettivo apparecchio, in una rete BUS i cavi di potenza devono raggiungere solo l'apparecchio da comandare, passando per il suo attuatore personale, collocato il più delle volte in sua prossimità, mentre il collegamento con gli altri componenti avviene tramite un cavo coassiale schermato inseribile in guaine decisamente più piccole. Nonostante questo sia solo il principio, ovvero la condizione necessaria a realizzare la rete logica di cui abbiamo parlato, si possono già vedere i vantaggi pratici tra le due tecnologie. Una volta realizzati i connettivi fisici si può finalmente procedere a creare i collegamenti logici. Questo passaggio consiste praticamente nell'assegnare ad ogni elemento un proprio codice, chiamato "indirizzo", che lo identifica univocamente all'interno della rete. Da qui in avanti il gioco è semplicissimo: ci si può sbizzarrire in ogni modo creando, via software, le relazioni che più riteniamo opportune tra i vari dispositivi. Per capirci, possiamo impostare il comando della tal lampadina attraverso i comandi manuali (ad esempio dei comuni pulsanti) preferiti, piuttosto che da sensori di presenza o sensori di luminosità. Ma non è tutto, grazie agli "indirizzi di gruppo", comprendenti una serie di indirizzi singoli, si possono creare degli insiemi omogenei di attuatori (per rimanere in tema, si potrebbe ad esempio creare i gruppi "luci zona giorno" e "luci zona notte") gestibili da un solo punto di comando. Inoltre, a differenza di un impianto elettrico tradizionale possiamo non solo controllare lo stato degli apparecchi, ma anche visualizzarlo su appositi monitor o display senza necessariamente raggiungere il luogo in cui sono installati. In ultimo, ma non per importanza, va sottolineato il carattere di flessibilità dovuto al fatto che, grazie ai collegamenti logici, consente di mutare in breve tempo e senza ulteriori interventi murari la configurazione dell'impianto, cambiando funzioni e modalità di attivazione semplicemente riprogrammando il sistema con un software, senza intervenire in alcun modo sul cablaggio.

Sono quindi innumerevoli i vantaggi di un sistema domotico applicato all'illuminazione; esso non solo aumenta di molto il comfort raggiungibile ma consente di ottenere un marcato risparmio energetico attraverso la semplificazione del controllo e l'automatizzazione degli interventi.

³⁰ Il collegamento elettrico si realizza facendo passare in tutti i dispositivi di comando i due cavi di fase e neutro (quello di protezione non ha interruzioni) fino a raggiungere la lampadina, all'interno di una guaina in traccia muraria.

4.2.2 Il controllo dei carichi elettrici

Oltre al controllo dei consumi relativi ai componenti propri degli impianti appena visti, l'automazione può dare un forte contributo anche alla gestione energetica di tutti gli apparecchi elettrici installati nell'ambiente.

Gestire un carico elettrico all'interno dell'edificio vuol dire non solo garantire che questo sia adeguatamente protetto dal rischio elettrico, così come richiesto dalle normative CEI vigenti, ma vuole anche dire capacità di governare e controllare l'aspetto degli assorbimenti energetici. La gestione ottimale dei costi energetici sta diventando oggi indispensabile in ambito residenziale, civile e industriale. Uno degli obiettivi principali per cui è stata sviluppata la domotica è infatti la gestione efficiente delle risorse energetiche dell'unità edilizia. Nonostante sia una problematica che tipicamente non riguarda la figura tradizionale del progettista generale, è opportuno in ogni caso che questi ne comprenda almeno gli aspetti generali, in quanto deve fungere da mediatore delle esigenze del committente.

In pratica, l'automazione può contribuire in modo efficace anche alla gestione energetica attraverso tre punti fondamentali, due dei quali sono già stati presentati:

- gestione del clima con la regolazione di temperatura e umidità su zone indipendenti dell'edificio;
- gestione delle luci con controllo di accensione, spegnimento e regolazione;
- controllo dei carichi e amministrazione dei consumi energetici: in caso di sovraccarico, prese comandate staccano i carichi nella sequenza programmata evitando un black-out; inoltre è possibile impostare il sistema in modo tale che, per esempio, durante la notte provveda a togliere l'alimentazione elettrica a tutti gli apparecchi della casa non necessari.

In riferimento al residenziale, ad esempio, il sistema di automazione può riguardare progetti che coinvolgono un intero stabile o il singolo alloggio; nella prima delle due ipotesi è inoltre possibile garantire un controllo degli spazi comuni grazie a un centralino.

In linea di massima, soprattutto nella fase iniziale della Building Automation, l'automazione è sempre stata collegata esclusivamente alla gestione efficiente dei carichi energetici dell'edificio. Sin dagli inizi, sia i protocolli proprietari sia il protocollo unico europeo Konnex avevano tutti come unico obiettivo la centralizzazione dei controlli dei funzionamenti e dei consumi proprio per ottenere il massimo dell'efficienza degli impianti di climatizzazione, di illuminotecnica e di movimentazione delle persone all'interno degli edifici, in integrazione con la security e la prevenzione degli incidenti. Con il passare degli anni, però, questa esigenza primaria è lentamente passata in secondo piano. Sono state infatti aggiunte e ampiamente pubblicizzate le funzionalità più che altro domestiche legate all'aspetto del comfort, della gestione centralizzata o remotizzabile dell'home entertainment, dell'irrigazione e della scenarizzazione delle luci.

Uno dei tipici casi in cui il controllo dei carichi diventa necessario è quando esiste una limitazione di potenza da parte dell'Ente erogatore di energia elettrica prossima alla potenza necessaria all'impianto. Tipicamente questo si verifica in alcuni periodi dell'anno e in particolari situazioni gestionali quali ad esempio il contemporaneo funzionamento di parecchi³¹ gruppi frigo, notevolmente energivori, durante le giornate estive più calde. Nelle ore

³¹ Questo "parecchi" è inteso dal punto di vista dell'Ente erogatore, poiché anche lui può essere soggetto a black-out, o la massimo dai grandi complessi dotati di numerose macchine frigorifere; per un utilizzatore domestico, invece, anche un'unica macchina in funzione è sufficiente a creare forti limitazioni.

di massimo prelievo di queste apparecchiature, vista la limitazione di potenza imposta dal fornitore di energia, l'assorbimento elettrico complessivo raggiunge quote tali da rendere necessario il distacco di alcuni carichi non preferenziali quali ad esempio la lavatrice, il phon, qualche stampante nel caso degli uffici e così via. Questo tipo di intervento permette di evitare punte di assorbimento che porterebbero al distacco dell'alimentazione da parte dell'Ente fornitore. Le apparecchiature di controllo dei carichi permettono perciò di governare i prelievi di energia di un edificio gestendo in maniera preferenziale i carichi prioritari (mantenendoli alimentati il più a lungo possibile) e distaccando invece in maniera selettiva e sequenziale quelli non indispensabili.

La definizione dei carichi prioritari rispetto a quelli non prioritari non è effettuabile allo stesso modo per tutti gli impianti, ma è un'operazione da eseguire *ad hoc* per ogni situazione in quanto le esigenze da utente a utente sono sicuramente differenti, con l'obiettivo comune di evitare gli esuberanti di potenza impegnata contrattualmente (ai quali conseguono, oltre al fastidio del black-out, spiacevolissimi rincari tariffari). La tipologia di tariffazione che l'utente ha intenzione di stipulare con il fornitore/distributore di energia elettrica, quindi, rappresenta una delle informazioni essenziali che il progettista deve conoscere al fine di realizzare un sistema di controllo dei carichi il più efficiente ed efficace possibile.

Anche se ovviamente bisogna cercare di individuare con precisione a priori quali saranno i carichi da gestire nel momento di massimo prelievo, non bisogna allarmarsi se col tempo le necessità dovessero cambiare; infatti, essendo questo sistema basato su una logica a BUS è possibile riconfigurarli in ogni momento via software assegnando priorità differenti. Superato questo problema iniziale, la rete fisica di questi impianti è relativamente semplice, soprattutto per impianti a funzionamento isolato e non applicati in sistemi BUS per il controllo integrato nell'edificio.

I vantaggi del sistema e gli accorgimenti da prendere

Una volta installato tutto l'impianto esiste una serie di vantaggi legati all'utilizzo di un sistema di monitoraggio dei carichi, alcuni più evidenti e immediati e altri derivanti da effetti consequenziali. Sicuramente il fatto di eliminare i picchi di potenza richiesta è uno degli aspetti più importanti in quanto consente di:

- evitare il superamento della potenza disponibile allo scopo di garantire la continuità di alimentazione generale³²;
- usufruire delle opzioni tariffarie più vantaggiose in base alle regole del mercato elettrico;
- ridurre i prelievi nelle fasce più costose attraverso la temporizzazione delle accensioni/spengimenti dei carichi utilizzando gli orologi software;
- verificare il corretto dimensionamento di trasformatori, protezioni termiche o altri elementi d'impianto, attraverso l'analisi di tensioni, correnti, fattore di potenza, ecc. rilevate sulle singole linee.

L'attenta analisi dei propri prelievi consente poi di evidenziare ed eliminare eventuali sprechi, assicurando un generale miglioramento dell'utilizzo dell'energia elettrica e dando modo di identificare il contratto elettrico più idoneo alle proprie effettive esigenze; inoltre è possibile archiviare i prelievi globali e parziali di qualsiasi fonte energetica come corrente elettrica, gas

³² I contatori hanno sempre una certa tolleranza, ovvero prima di scattare offrono per un tempo limitato una potenza anche superiore a quella nominale (esempio: quello da 3 kW consente di prelevare senza limiti di tempo fino a 3,3 kW, fino a 4 kW per almeno tre ore, una potenza superiore a 4 kW per due minuti). Il superamento di tale potenza contrattuale tempi indietro veniva penalizzato con un costo del kW triplo o anche quadruplo, oggi l'ente si limita ad interrompere la fornitura.

metano, acqua, vapore, ecc., con l'opportunità di avere a disposizione un database sempre aggiornato e accessibile per qualsiasi evenienza. Attraverso il controllo dell'energia acquistata, ceduta e autoprodotta sfruttando la cogenerazione, inoltre, un sistema di monitoraggio permette di conoscere in ogni momento il bilancio energetico ed avere quindi il resoconto della propria situazione. Per quanto riguarda il controllo di sistemi più articolati ed estesi va ricordato che questa tecnologia offre l'opportunità di centralizzare presso una unica sede, attraverso un semplice collegamento via modem telefonico, la gestione dei consumi elettrici di immobili distribuiti su un'area non necessariamente circoscritta oppure addirittura di stabilimenti remoti (ad esempio controllare comodamente da casa propria la situazione della "casa delle vacanze" in una località differente).

C'è da dire però che esistono alcuni punti, non relativi alla tecnologia in generale ma strettamente legati alle logiche di funzionamento scelte, che se sottovalutati rischiano di compromettere l'intera funzionalità della sistema. Come già citato, la questione primaria da affrontare in sede progettuale è quella di definire correttamente ciò che deve restare in servizio fino all'ultimo rispetto ai carichi che possono essere distaccati per primi. Uno dei rischi che si corrono di frequente, infatti, è quello di avere un sistema di gestione non tarato a causa del quale, in maniera automatica e qualche volta arbitraria, avvengono determinate azioni di controllo non volute e spesso non modificabili dall'utente.

Vanno aggiunti poi due importanti aspetti associati al costo. Il primo è quello di installazione, legato ai costi diretti, che è fortemente condizionato da alcuni parametri: qualità e quantità dei punti di misura e delle apparecchiature per il campionamento dei parametri elettrici (quante prese controllate sono realmente necessarie?); punti di comando per le azioni di governo relativamente alla gestione dei carichi; estensione dell'impianto. Il secondo aspetto è quello relativo ai costi indiretti, ancora non del tutto competitivi con le soluzioni tradizionali: formazione del personale; impiego di personale preposto alla lettura e analisi dei dati e che controlli lo stato di fatto dell'impianto; costi per la manutenzione, anche preventiva.

Il discorso quindi rimane sempre lo stesso: l'assenza di una adeguata informazione in merito fa sì che i potenziali vantaggi delle applicazioni domotiche rimangano ancora troppo offuscati da queste criticità, dovute sia alle problematiche di un mercato ancora in fase di avvio sia alla delicatezza delle fasi decisionali preventive, che potrebbero anche disorientare sensibilmente la fiducia del consumatore andando a minare il già scarso interesse nutrito verso questo tipo di innovazione.

4.2.2.1 Elettrodomestici intelligenti e prese controllate

Negli ultimi anni si è raggiunto un importante traguardo nell'ambito delle apparecchiature domotiche: non solo sensori e componenti specifici, ma anche veri e propri "elettrodomestici intelligenti", e questa caratteristica rappresenta oggi un valore aggiunto non indifferente dei nuovi modelli rispetto a quelli tradizionali.

Queste apparecchiature sono molto evolute, dotate di microchip interni opportunamente programmati e a volte anche programmabili dall'utente, che però alla vista sono in tutto e per tutto identici a quelli comunemente usati, fatta eccezione per il naturale ammodernamento legato al design. Il punto cardine di questa evoluzione sta nel fatto che esse sono connesse in rete tramite telefono o connessione internet e possono comunicare sia con l'utente per via di interfacce *user friendly* sia tra di loro tramite cavetto BUS (o sfruttando le onde convogliate all'interno della normale rete elettrica domestica). Si ha quindi un cospicuo aumento delle funzionalità di cui servirsi, quali per esempio: frigoriferi e congelatori capaci di avvertire l'utente quando i cibi stanno per esaurirsi o per scadere, lavatrici che riconoscono il tipo di biancheria inserita e impostano di conseguenza il programma di lavaggio più adatto, oppure,

sicuramente più importante, la capacità di svolgere l'autodiagnosi ed inviare eventualmente messaggi all'utente o richieste di manutenzione direttamente ai centri di assistenza specifici.

Senza dubbio queste sono tutte novità apprezzate dalla clientela, ma l'aspetto più importante su cui concentrare l'attenzione è quello legato alla gestione dei consumi energetici. Mentre prima tutte le apparecchiature domestiche dovevano necessariamente essere gestite in modo autonomo, ora è possibile effettuare un controllo integrato e flessibile a seconda delle proprie esigenze, ma soprattutto nel rispetto dei limiti imposti dall'impianto elettrico distribuendo i carichi in funzione dei limiti massimi imposti contrattualmente. È proprio per questo motivo che si è ritenuto opportuno estendere le logiche di automazione del controllo e della gestione del carico elettrico anche agli elettrodomestici. La soluzione è stata quindi quella di avere uno strumento che non solo consentisse il monitoraggio del consumo, ma che permettesse anche un controllo attivo con eventuale distacco e riconnessione alla rete o semplicemente programmando un'attivazione ritardata.

Nel caso però in cui non si possedessero apparecchiature "intelligenti", non verrebbe comunque preclusa la possibilità di adottare un sistema di gestione energetica delle utenze elettriche. Esistono infatti sul mercato particolari prese elettriche dotate di un'apposita elettronica capace di trasferire la propria "intelligenza" alle utenze connesse. Esse consentono agli elettrodomestici di comunicare attraverso la normale linea di potenza domestica, quindi non necessitano della posa in opera di cavi aggiuntivi; inoltre sono molto facili da usare, poiché è sufficiente assegnare a ciascuna presa un livello di priorità (un numero) a seconda dell'ordine gerarchico che si ritiene più opportuno. Questo sistema, mediante un apposito sistema di controllo (gestito da un "controllore"), riesce a gestire la potenza disponibile in modo da non superare la soglia di sovraccarico ed evitando il sezionamento elettrico di tutto l'impianto; qualora infatti venisse rilevata una potenza eccessiva, il sistema provvederebbe automaticamente al distacco sequenziale dei carichi partendo da quelli a priorità minore, riattivandoli eventualmente in un secondo momento in cui la potenza fosse di nuovo sufficiente. Il controllore, inoltre, può anche programmare l'accensione di alcuni carichi nell'arco della giornata, in modo da sfruttare maggiormente le fasce orarie a tariffa ridotta.

4.2.2.2 La figura professionale dell'Energy Manager

Agli inizi degli anni Settanta vi fu un'importante crisi petrolifera che in alcuni casi spinse ad affidare ad una persona competente e capace l'incarico di affrontare e risolvere il problema, attribuendole potere e mezzi necessari. Nacque quindi in Inghilterra la figura dell'Energy Manager, il quale aveva il compito di gestire e razionalizzare le risorse energetiche.

In Italia, soltanto con la legge n. 208/1982 nasce ufficialmente il Responsabile per la Conservazione e l'Uso Razionale dell'Energia (l'equivalente appunto dell'Energy Manager). Con la legge n. 10/1991 si attribuisce poi all'Energy Manager il compito di "individuare le azioni, gli interventi, le procedure e quant'altro necessario per promuovere l'uso razionale dell'energia, predisporre i bilanci energetici in funzione dei parametri economici e degli usi finali, nonché i dati energetici di verifica degli interventi effettuati". Successivamente, verrà precisato che la nomina di tale responsabile è obbligatoria per tutti i soggetti pubblici o privati caratterizzati da consumi superiori alle soglie stabilite della stessa legge (10.000 tep/anno per aziende ed industrie, 1.000 tep/anno per il settore civile, il terziario e per la pubblica amministrazione). La pubblicazione poi nel 2009 della norma europea EN 16001 sui Sistemi di Gestione dell'Energia offre un nuovo e potente strumento alle aziende interessate ai benefici economici e ambientali legati all'efficienza energetica e inquadra meglio il ruolo dell'Energy Manager nell'ambito della struttura di appartenenza.

Si tratta di un profilo di alto livello, con competenze manageriali, tecniche, economico-finanziarie, legislative e di comunicazione che supporta i decisori aziendali nelle politiche e nelle azioni collegate all'energia. Contemporaneamente si sta delineando la nuova figura professionale di Esperto in Gestione dell'Energia (EGE), che amplia ed approfondisce le competenze dell'Energy Manager in risposta alle più recenti Direttive Europee che richiedono un uso più efficiente delle risorse energetiche.

4.3 Le applicazioni in ambito non energetico

4.3.1 Security, ovvero la protezione da intrusioni

Rispetto ad interventi sugli altri impianti tecnologici, le persone spesso prediligono innanzitutto proteggere la propria incolumità dai malintenzionati e da situazioni accidentali, e in secondo luogo tutelare l'integrità dei beni materiali interni all'abitazione. Per questo motivo, in un discorso generico di innovazione, il comparto della sicurezza può sicuramente fungere da trampolino di lancio all'interno di un mercato nascente e con grandi potenzialità di sviluppo come quello della domotica.

Con questo termine si intende principalmente la sicurezza dei beni e delle persone da eventi quali l'intrusione, il furto, la rapina, ecc. Inoltre, spesso, vi è la possibilità di estendere questa integrazione anche agli altri impianti tecnologici, fornendo una protezione a tutto tondo. Per questo motivo, anche nell'ambito dell'automazione domestica si tende a predisporre questi sistemi di sicurezza in modo da poterli implementare in un secondo momento.

Sistemi antintrusione nell'abitazione

Un sistema di questo tipo ha prima di tutto lo scopo di impedire a persone estranee o comunque indesiderate di poter accedere all'interno dell'ambiente. L'ambiente in questione può poi essere rappresentato solamente dall'edificio oppure può essere completato dal giardino circostante fino ai limiti esterni della proprietà. La seconda funzione importante, oltre alla protezione passiva in caso di evento, è quella attiva di segnalazione del fatto a chi di dovere unita a specifici interventi dissuasivi aventi il compito di impedire il proseguimento dell'atto vandalico.

La strutturazione fisica di un impianto antintrusione comprende sostanzialmente poche classi di componenti, mentre la tipologia generale del sistema di difesa dipende da che tipo di protezione intendiamo realizzare. A monte di tutto troviamo la centralina di allarme, il cuore pulsante dell'intero sistema; ad essa fanno capo le funzioni di gestione delle informazioni circolanti all'interno del sistema: riceve i messaggi trasmessi dai componenti di input, li interpreta e ne invia di nuovi agli appositi attuatori, oltre eventualmente a provvedere all'archiviazione di dati in un database. La centralina, per poter garantire un servizio adeguato, deve essere permanentemente in funzione (quindi, nonostante sia alimentata a 24 V, rappresenta comunque un consumo costante), e deve essere provvista di un'alimentazione di emergenza (una batteria) per qualsiasi evenienza. La funzione di input è affidata agli apparecchi di rivelazione, ovvero quei dispositivi capaci in vari modi di percepire anomalie nell'ambiente controllato dovute a una incongruenza tra le condizioni riscontrate e quelle cosiddette "di quiete" impostate dall'utente. Dal punto di vista della qualità di funzionamento è opportuno prevedere un circuito separato per ogni rivelatore, per evitare che eventuali guasti a singole porzioni di impianto possano rendere inefficace l'intero sistema.

A grandi linee, un sistema di *security* può essere ripartito in due macroaree, ovvero la "protezione esterna" (recinzione, terreno di proprietà e perimetro esterno) e la "protezione

interna” (perimetro interno, volumi interni, oggetti di particolare interesse), per le quali il monitoraggio viene garantito da diversi tipi di rivelatori basati su altrettanti principi fisici.

- Protezione esterna
 - barriere a infrarossi attivi: sono rivelatori lineari in cui un fascio invisibile di infrarossi viene inviato da un trasmettitore ad un ricevitore ed analizzato in un circuito elettronico, generando un messaggio di allarme in caso di presenza di oggetti all’interno del campo d’azione;
 - barriere a ultrasuoni: il principio di funzionamento è lo stesso dei rilevatori per interni, ma in questo caso il trasmettitore del fascio di onde e il ricevitore sono in due posizioni contrapposte, in modo da sorvegliare la zona tra di essi;
 - per recinzioni: rilevano la rottura o la sollecitazione anomala degli elementi di confine;
 - da interro: rilevano la variazione di pressione nell’area protetta.

- Protezione interna
 - volumetrici a infrarossi passivi: sorvegliano il volume dell’ambiente protetto rilevando le emissioni dei corpi nel campo dell’infrarosso e riconoscendo in particolare il movimento del corpo umano;
 - volumetrici a microonde: emettono un fascio di onde elettromagnetiche e captano eventuali echi prodotti da corpi in movimento all’interno della zona protetta (come avviene nei Radar);
 - volumetrici a ultrasuoni: sono composti da un emettitore di onde nel campo dell’ultrasuono (non percepibile all’orecchio umano) ed un ricevitore che rilevano eventuali variazioni del campo sonoro causate dal movimento di corpi solidi;³³
 - a doppia tecnologia: mettono in atto un controllo combinato agendo su più parametri contemporaneamente (IR + ultrasuoni, IR + microonde);
 - di contatto (elettromeccanici, magnetici): sono costituiti da una coppia di componenti posizionati su elementi potenzialmente separabili e sono sensibili all’interruzione di contatto tra di essi; in base al tipo di funzionamento si possono avere sistemi “a corrente di riposo” o circuiti “a corrente di lavoro”;³⁴
 - di vibrazione e rottura (piezoelettrici): sono componenti sensibili alle vibrazioni che si propagano all’interno del materiale in seguito alla rottura dello stesso.

A valle dell’impianto vi sono i terminali di segnalazione dell’allarme, ossia quei dispositivi che, qualora venisse riscontrata una situazione critica, servono ad informare l’utenza ed eventualmente le forze dell’ordine del pericolo in corso. La tecnica di segnalazione sicuramente più diffusa è la classica sirena di allarme esterna accoppiata ed un lampeggiante, ma sempre più spesso possono essere installati anche degli avvisatori acustici per interni (magari integrati anche in uno scenario con l’impianto di illuminazione interna) utili a

³³ Per l’effetto Doppler, se una sorgente sonora è in movimento rispetto all’elemento ricevitore, quest’ultimo percepirà una frequenza dell’onda emessa diversa da quella reale in relazione alla velocità della sorgente nella direzione che li congiunge. La frequenza rilevata sarà maggiore se la sorgente si avvicina, minore se si allontana. In questo caso il sensore funge sia da sorgente sia da ricevente, ma il principio rimane comunque valido in quanto ogni elemento capace di riflettere l’onda diventa a sua volta una sorgente.

³⁴ Un sistema “a corrente di riposo” è sempre percorso da corrente e il messaggio di allarme è causato da un’eventuale interruzione del circuito; in un sistema “a corrente di lavoro”, invece, l’evento di pericolo è segnalato dalla chiusura del circuito normalmente aperto. Il primo sistema è quello maggiormente impiegato negli impianti di protezione, anche se comporta un consumo continuo di energia e richiede una continua manutenzione per evitare l’ossidazione dei contatti; il secondo invece non richiede nessun consumo di corrente nella situazione di esercizio, ma non segnala l’interruzione del circuito dovuta ad un eventuale tentativo di sabotaggio.

disturbare ulteriormente l'intruso facendolo magari desistere dal fatto. Accanto a questi avvisatori è possibile inoltre aggiungere un combinatore telefonico in grado di inviare messaggi preregistrati, a numeri memorizzati o alle squadre di intervento preposte, attraverso la normale linea telefonica o via GSM.

L'ultimo componente essenziale di un impianto *safety* è rappresentato dagli apparati di inserimento e disinserimento dello stesso, da parte dell'operatore manualmente o in modo automatico a tempo predeterminato; anche questi sono alimentati elettricamente o da una o più batterie di accumulatori per essere sempre attivi. Di questi componenti ne esistono di varie tipologie, dai semplici tasti di attivazione/disattivazione ai comandi a chiave (più meccanici ed elementari ma più affidabili), fino ai parzializzatori che, come già dice il nome, servono a gestire le diverse aree dell'impianto qualora questo fosse suddiviso in più aree comandabili separatamente. È possibile infine integrare tutte le funzioni in singoli organi di comando quali pulsantiere o pannelli touch screen, che garantiscono la riservatezza dell'accesso grazie a password personali, badge, o chiavi programmabili.

Sistemi di videosorveglianza

Per garantire il controllo visivo di una determinata area interna od esterna all'edificio si utilizzano i sistemi di sorveglianza a circuito chiuso (TVCC), ovviamente uniti agli impianti di sicurezza tradizionali.

Un impianto di questo tipo è costituito da una serie di telecamere fisse o mobili (queste ultime possono ruotare, riprendendo così uno spazio più ampio), collegate con uno o più monitor collocati nella zona di presidio. L'allestimento base è composto da telecamere, monitor e apparecchi di registrazione audio-video. Le prime hanno il compito di cogliere le immagini e i rumori provenienti dalla zona sorvegliata e sono alimentate continuamente in bassissima tensione (SELV, 24 V); i monitor invece visualizzano le immagini inviate dalle telecamere; questi ultimi sono gli stessi dispositivi comunemente collegati ai personal computer di casa, quindi un accorgimento utile per un discorso di risparmio energetico è quello di scegliere modelli LCD o al plasma (che hanno entrambi durata maggiore) piuttosto che a tubo catodico. Gli apparecchi di registrazione audio-video, poi, sono essenziali per fare una copia delle riprese su supporto analogico o digitale.³⁵ Infine, l'impianto TVCC può essere eventualmente integrato con dei microfoni rilevatori di suoni e di segnali acustici, inviati anch'essi alla consolle operativa attraverso la linea telefonica e utili ad aumentare la qualità del monitoraggio.

Sull'uso di questi sistemi in ambienti domestici c'è da dire che, fino a qualche tempo fa, l'installazione era confinata alle grandi ville ed era considerata più una dotazione di lusso che una vera necessità. Oggi invece le cose stanno cambiando, e soprattutto a partire dai condomini si registra una crescente presenza di impianti TVCC magari costituiti semplicemente da poche telecamere che inviano immagini sul proprio display del videocitofono, in modo da mostrare cosa succede nelle zone critiche e non direttamente visibili dal proprio appartamento. Vi sono poi tecnologie capaci di visualizzare le immagini riprese direttamente sul proprio televisore o sullo schermo di un PC, potendole poi registrare tramite videoregistratore o semplicemente salvandole sull'hard disk. Addirittura, per i sistemi più

³⁵ I principali vantaggi della memorizzazione digitale stanno da una parte nella notevole quantità di dati immagazzinabili e nelle ridotte dimensioni dei dischi rigidi rispetto ai nastri magnetici, e dall'altra nella minore sensibilità al degrado fisico, il che rende questa tecnologia più sicura e affidabile. Con il sistema di archiviazione digitale vengono sensibilmente facilitate le operazioni di analisi, elaborazione e duplicazione del materiale, potenzialità che però purtroppo rende più semplici anche le operazioni di manomissione e modifica dei filmati.

avanzati, vi è anche l'opportunità di controllare e agire sull'intero impianto in remoto e in qualsiasi momento.

A proposito del telecontrollo è utile fare qualche considerazione in merito alle utenze che per un motivo o per l'altro si trovano spesso ad avere l'abitazione disabitata. Grazie agli apparecchi di uso comune come i telefonini e i computer, infatti, è possibile attivare o disattivare il sistema di allarme e allo stesso tempo verificarne il funzionamento quando si vuole, a prescindere dal luogo in cui ci si trova.

Sistemi di controllo accessi

Questo tipo di sistemi servono a garantire il totale controllo delle persone che accedono all'interno di uno spazio protetto, sia esso un domicilio o un ambiente lavorativo; nel secondo caso è utile anche a sorvegliare gli orari di ingresso e di uscita del personale. Per ovviare a queste esigenze la domotica mette a disposizione diverse soluzioni, partendo dalle più semplici come il telecomando per il cancello fino ad arrivare a quelle più tecnologiche come i rilevatori biometrici.

Innanzitutto è opportuno distinguere le modalità di controllo in funzione degli ambiti in cui un sistema di questo tipo viene installato. Per quanto riguarda un'abitazione, infatti, è sufficiente realizzare un impianto integrato che consenta l'apertura di porte e cancelli congiuntamente alla disattivazione dell'impianto antintrusione; per questo scopo esistono ad esempio serrature elettromeccaniche, che uniscono la sicurezza ormai consolidata delle tradizionali serrature alla flessibilità di quelle elettroniche. L'elevato grado di affidabilità è garantito anche dal fatto che in caso di furto o smarrimento delle chiavi basta una semplice riprogrammazione della combinazione elettronica e la sicurezza è nuovamente ripristinata. Tuttavia anche i costi sono sensibilmente maggiori, quindi bisogna valutare adeguatamente l'effettiva convenienza.

Va detto però che il modesto risparmio economico così ottenuto (non bisogna sostituire tutte le serrature) è affiancato da costi di installazione superiori rispetto alle tipologie tradizionali, quindi occorre informare in anticipo gli utenti e valutarne l'opportunità. In alternativa, sempre in aggiunta alle normali chiavi, si può scegliere di utilizzare dei sistemi a *badge* (chiave elettronica) oppure tastiere alfanumeriche per la digitazione di *password*, con la sola funzione di attivazione/disattivazione dell'impianto antifurto.

È evidente che le innovazioni portate dai sistemi di controllo automatico degli accessi danno spazio a scenari completamente nuovi per l'ambiente domestico in quanto regolano l'ingresso delle persone autorizzate in maniera completamente automatica. Tuttavia, proprio per la molteplicità di funzioni spesso ritenute eccessive, questo genere di sistemi ha riscontrato un successo maggiore in edifici come gli alberghi, oppure negli ambienti lavorativi e comunque in quei contesti in cui è richiesto un elevato grado di sicurezza, dove è indispensabile una precisa e continua identificazione delle persone (registrando informazioni come data, orario ed eventualmente immagini).

Per queste realtà si ha veramente l'imbarazzo della scelta tra i moltissimi livelli di controllo. Le ultime novità riguardano il riconoscimento delle persone tramite le proprie caratteristiche biologiche. Parametri come il profilo del volto, le impronte digitali o le caratteristiche dell'occhio (tutti aspetti unici per ogni essere vivente) possono essere memorizzati dall'utente e confrontati all'occorrenza con quelli rilevati tramite appositi sensori. Nonostante alcuni produttori stiano già proponendo soluzioni su misura per le abitazioni, sicuramente passerà del tempo prima che questi sostituiscano in massa i sistemi tradizionali.

4.3.2 Safety, ovvero la sicurezza fisica di persone e cose

I sistemi *safety*, a differenza di quelli per la *security*, hanno lo scopo di garantire l'incolumità fisica delle persone e dei beni materiali nei confronti di eventi pericolosi accidentali come una fuga di gas, l'allagamento causato da perdite dell'impianto idrico, un incendio, ecc.

In genere, i pericoli più comuni per un ambiente domestico sono connessi al contatto di parti dell'impianto elettrico in tensione (ma questo si risolve già con le protezioni tradizionali), oppure allo scatenamento di incendi, o ancora a fuoriuscite di acqua o gas dalle rispettive tubazioni, (con effetti diretti come un'intossicazione, o indiretti come lo sviluppo di scintille in interazione col circuito elettrico). Non sempre però le cause sono da attribuirsi a guasti dell'impianto, infatti non sono pochi i casi di dimenticanze accidentali, magari il gas lasciato aperto in cucina, che hanno causato danni anche molto gravi sia agli stabili sia agli inquilini. Le principali aree di applicazione di un impianto *safety* diventano dunque la protezione antincendio, la protezione da gas nocivi e la protezione dagli allagamenti.

La strumentazione messa in opera consiste in una serie di rilevatori di vario tipo e relativi ai fenomeni principali caratterizzanti ogni situazione di pericolo (fumo, calore, presenza di acqua, ecc.), nei dispositivi di segnalazione locale o remota (allarmi acustici, allarmi ottici o combinatori telefonici) e negli attuatori impostati per eliminare in breve tempo la causa dell'allarme e/o il pericolo stesso (estintori, elettrovalvole).

Protezione antincendio

Uno dei primi sistemi di protezione da questo tipo di pericolo che ci viene in mente è sicuramente l'impianto di estinzione a sprinkler, ma ci rendiamo conto che una soluzione simile, nonostante espleti appieno la funzione di estinzione dell'incendio, non va bene in ogni ambiente; ad esempio non può assolutamente essere scelta per un'abitazione, dove l'entrata in funzione degli erogatori andrebbe sicuramente a danneggiare i beni (come soprammobili, tappezzeria o parquet) che invece si intende salvaguardare; d'altro canto rimane la più indicata ad esempio all'interno di depositi di sostanze pericolose, nelle autorimesse e in tutti quei luoghi dove la salvaguardia dei beni contenuti sia secondaria rispetto ad aspetti più importanti (ad esempio il pericolo di esplosioni o contaminazioni). Per questo motivo, quando si parla di protezione dagli incendi in ambito domestico si intende principalmente la funzione di rilevazione e segnalazione nei tempi più brevi possibili, per consentire laddove possibile di mettere al sicuro le persone e gli oggetti più cari e nel frattempo avvertire le squadre di pronto intervento. In aggiunta a questo, la domotica consente di ottenere gradi di sicurezza ancora maggiori grazie alla possibilità di intervenire congiuntamente sulle alimentazioni di gas e corrente elettrica interrompendone il flusso, riducendo così il pericolo di ulteriori focolai o addirittura di esplosioni.

Poiché durante un incendio coesistono un insieme di diversi eventi, è solo operando un controllo incrociato su più parametri che diventa possibile segnalare il pericolo tempestivamente e con una minore probabilità di falsi allarmi (se ad esempio in un determinato momento rilevo del fumo in eccesso ma i sensori di calore di quella zona non riscontrano anomalie, la segnalazione non avvertirà di un incendio ma provvederà all'allarme opportuno). Sulla base di ciò, i sensori di rilevazione sono impostati per essere sensibili alla presenza di particelle sospese (fumi), di gas nocivi (prodotti della combustione) alle variazioni di temperatura ambiente e alla presenza di fiamme (rilevazione delle radiazioni nello spettro del visibile).

Per il momento quelli più impiegati in ambito domestico sono i primi. I sensori di calore agiscono invece nel campo termico e possono generare segnali di allarme o in caso del

raggiungimento di una temperatura impostata (rilevatori termostatici) oppure nel momento in cui la temperatura subisce variazioni consistenti e rapide (rilevatori termovelocimetrici). Questi sensori, a causa della scarsa sensibilità nel periodo transitorio del fenomeno, mettono in allerta solo quando l'incendio è già divampato, e quindi non sono idonei ad individuare il pericolo nelle primissime fasi. Tuttavia sono molto impiegati laddove vi sia la presenza di fonti di disturbo per i rilevatori di fumo, ovvero cucine, locali termici o locali molto polverosi.

L'ultima tipologia consente invece di vedere le fiamme, percependone le radiazioni emesse nello spettro del visibile (per questo motivo bisogna fare attenzione a situazioni come la luce solare o artificiale diretta che potrebbero creare falsi allarmi). Un controllo di questo tipo trova applicazione in quelle situazioni passibili di esplosioni o comunque di sviluppi molto rapidi di incendio, per le quali il rischio di creare danni ingenti sia elevato.

Tutte queste funzionalità, però, potrebbero essere significativamente ridotte da un posizionamento errato dei sensori di rilevazione. Prima di collocare i componenti casualmente o semplicemente basandosi su fattori estetici bisogna fare attenzione alla dinamica degli eventi da segnalare. Come abbiamo già detto, ogni sensore fa riferimento a un determinato parametro, quindi saranno diverse le precauzioni da mettere in atto. Il fumo, ad esempio, tende ad andare verso l'alto spinto dall'aria calda, quindi il relativo sensore va messo sul soffitto (o poco più in basso, sulla parete, in caso di soffitti alti), mentre per non incappare in falsi allarmi bisogna evitare di sistemarlo vicino alle fonti dirette come i fornelli della cucina o la caldaia; lo stesso discorso vale per i rilevatori di calore.

Protezione dalle fughe di gas

Per quanto concerne la presenza di gas in ambienti domestici o di ufficio vanno innanzitutto identificati quelli potenzialmente pericolosi: si può avere infatti un eccesso di CO (monossido di carbonio) in seguito a combustioni imperfette per carenza di ossigeno, una presenza anomala di CH₄, (gas metano) dovuta a perdite dell'impianto di adduzione, a terminali mal funzionanti (cucine o caldaie) oppure a rubinetti di erogazione lasciati inavvertitamente aperti; in aggiunta a questi, che sono i più comuni, si può trovare anche del GPL nel momento in cui vi siano caldaie a gas liquido oppure in prossimità di parcheggi abilitati ad ospitare automobili alimentate con questo carburante.

La sicurezza a tal scopo è garantita da questi sistemi in quanto:

- rilevano la presenza dei gas in quantità irregolari;
- allertano l'utente o gli organi di intervento;
- chiudono l'erogazione del gas a monte dell'impianto.

Lo scopo principale, quindi, è quello di segnalare in tempo situazioni che potrebbero diventare pericolose per la salute delle persone, evitando quindi intossicazioni o anche lo scoppio di incendi. La messa in atto della protezione avviene sostanzialmente come negli altri sistemi, ovvero dei sensori inviano dei messaggi alla centralina, che in caso ricevesse indicazioni di pericolo provvederebbe ad attivare segnalatori e attuatori opportuni. I segnalatori ottici/acustici, più essenziali, emettono avvisi percepibili solo in presenza di qualcuno all'interno dell'ambiente da proteggere, e quindi sono vani se i locali sono disabitati; i rivelatori, invece, sono capaci anche di intervenire direttamente sulle elettrovalvole e bloccare il flusso di gas in qualsiasi momento. Le elettrovalvole sono poi dei dispositivi particolari che possono chiudersi sotto il comando di un impulso elettrico ma sono riarmabili esclusivamente a mano, al fine di evitare accidentali e pericolose riprese dell'erogazione.

Tuttavia, non è solo bloccando i gas all'origine che si può risolvere il problema. Se infatti l'ambiente è dotato di un impianto di ventilazione forzata, la domotica consente di integrare

questo apparato in modo da attivare una circolazione dell'aria e diluire così le particelle nocive, oppure, in assenza di uno specifico impianto, si può impostare un intervento più semplice agendo sull'apertura automatica dei serramenti. Un'altra funzione che si può impostare è quella di sezionare l'impianto elettrico per evitare l'insorgere di esplosioni. Le combinazioni poi possono crescere ancora se si aggiungono ulteriori contributi, in ogni caso questa è una dimostrazione di come un sistema domotico possa, tramite la coordinazione del "sistema edificio" nella sua complessità, non solo aumentare il livello generale di comfort ma anche dare una forte spinta in termini di sicurezza.

Anche in questo caso la posizione dei dispositivi è fondamentale, quindi in base al tipo di gas è necessario prevedere alcune disposizioni dei sensori: quelli di metano e monossido, essendo questi gas più leggeri dell'aria, vanno messi nella parte alta dei locali, mentre quelli sensibili al GPL vanno messi vicino al pavimento, poiché il gas liquido in atmosfera tende a depositarsi.

Protezione dalle fuoriuscite di acqua

I problemi che possono generarsi da un malfunzionamento o da un uso scorretto della rete idrica interna sono spesso sottovalutati, soprattutto nelle abitazioni dove tutto sommato se ne fa un uso abbastanza frequente. Se, infatti, la prima cosa che ci viene in mente è evitare gli sprechi inutili di acqua, è anche vero che la presenza della stessa in alcune situazioni (all'interno di circuiti elettrici) può essere più che una seccatura economica e trasformarsi in un vero e proprio pericolo per l'incolumità delle persone. Va precisato che la probabilità di eventi gravosi è sicuramente inferiore agli altri casi, in quanto un impianto elettrico realizzato a regola d'arte deve essere già di per sé adeguatamente isolato e dotato degli opportuni interruttori di sicurezza; però, se per esempio vi fosse un'infiltrazione in zone occupate da parti in tensione normalmente inaccessibili ci sarebbe comunque il rischio di provocare folgorazioni agli inquilini (qualora fosse la loro presenza a chiudere il circuito) o magari anche solo dei cortocircuiti dannosi per l'impianto elettrico. Per questo motivo, nelle zone sensibili come il bagno, la cucina o i locali ai piani interrati sarebbe opportuno utilizzare un sistema di rivelazione che intervenga chiudendo l'acqua in caso di anomalie.

Il principio sul quale si basa la rilevazione dell'acqua è sostanzialmente quello per cui essa ha un'elevata conducibilità elettrica; i sensori di questo tipo di sistema sono infatti dotati di due elettrodi, rivolti verso il basso, e sensibili alla variazione di corrente circolante tra di essi: nella situazione di quiete rappresentano un circuito aperto, mentre nel momento in cui vengono entrambi a contatto con l'acqua il circuito si chiude, si attiva l'interruzione dell'erogazione e scatta l'allarme allo stesso modo degli impianti già visti. Per avere la massima efficienza, anche in questo caso bisogna fare attenzione alla collocazione dei dispositivi di rilevazione: gli elettrodi, infatti, devono essere messi sulla parete vicino ai terminali di fuoriuscita e a una quota massima dal pavimento di qualche millimetro; questo serve sia ad individuare in breve tempo il guasto sia ad evitare che l'allagamento si propaghi agli ambienti vicini.

4.3.3 Comunicazione e telecomunicazione

L'interfaccia-utente rappresenta il mezzo con il quale l'utilizzatore interagisce con il sistema, ovvero quella parte del sistema che consente di gestirlo nel modo più semplice e immediato possibile.

Se ci riferiamo al comune computer, le interfacce dei software stessi rappresentano i mezzi di interazione progettati appositamente per essere utilizzati in maniera intuitiva da chiunque, e devono pertanto soddisfare dei requisiti elementari: recepire i comandi forniti dall'utente e interpretarli, tradurli in un linguaggio comprensibile dai mezzi di trasmissione e dagli attuatori, recepire i segnali di ritorno e inviare un *feedback* all'utente. Il problema di base è quindi quello

di essere compresa (l'interfaccia) facilmente anche da chi ha meno familiarità con l'informatica, questione che può variare anche di molto la percezione della qualità dell'intero sistema. Per poter venire incontro a questa necessità, quindi, la domotica è riuscita col tempo a raggiungere l'obiettivo di sfruttare i dispositivi di uso comune quali PC e telefoni cellulari, ben conosciuti dalla maggior parte delle persone, potendo in questo modo garantire una comunicazione completa, sia in loco sia in remoto. In sostanza, Le caratteristiche che una buona interfaccia deve avere sono:

- facilità d'uso: la comprensione del funzionamento deve essere semplice, con comandi ridotti e che diano risposte chiare e immediate;
- confidenza: l'utente deve percepire di essere pienamente padrone delle scelte fatte;
- sicurezza: sia per l'impianto stesso sia nei confronti dell'utente;
- affidabilità: è tanto più alta quanto l'utente ritiene opportuno affidare all'impianto la gestione di attività essenziali; in questo senso, la capacità di autodiagnosi e di intervento automatico in caso di anomalie può aiutare ad aumentare il grado di affidabilità.

Le tipologie di dispositivi di interfaccia

Le molteplici soluzioni in questo ambito sfruttano le seguenti tipologie: pulsanti tradizionali, tastiere, telecomandi, telefoni, PC, display touch-screen e sistemi a comando vocale.

I primi sono molto simili ai pulsanti tradizionali, non interrompono il circuito di potenza ma contengono al loro interno l'interfaccia digitale; le grosse limitazioni sono rappresentate dalla mancanza di un *feedback*, come ad esempio una spia luminosa, e dal fatto che in presenza di più pulsanti vicini, essendo tutti uguali, può causare un elevato senso di incertezza. Con le tastiere si risolvono alcuni di questi problemi: innanzitutto il cablaggio si snellisce, potendo gestire più tasti da un unico dispositivo collegato con soli due fili, inoltre i tasti stessi sono dotati di spie e riconoscibili facilmente da apposite icone. Il telecomando rappresenta poi l'evoluzione delle tastiere, in quanto aggiunge l'indipendenza da un collegamento fisico permettendo così una maggiore maneggevolezza; tuttavia, i telecomandi tradizionali sono associati ognuno al relativo dispositivo, quindi con l'evoluzione tecnologica che porta ad avere un numero crescente di dispositivi bisogna trovare un compromesso: ecco che compaiono i telecomandi universali e quelli programmabili, adattabili ad ogni periferica previa digitazione del codice assegnato.

Tra le interfacce che si usano più volentieri e con le quali si ha più confidenza troviamo sicuramente il telefono, che permette di controllare a distanza un sistema di automazione in maniera semplice attraverso brevi sms o messaggi vocali inviati dall'utente al sistema o dal sistema stesso a numeri preimpostati. Un'altra interfaccia familiare è sicuramente il PC, facente parte ormai del quotidiano di ognuno di noi; nonostante il suo uso sia sicuramente molto semplice rimangono dei limiti per un suo utilizzo in campo domotico, infatti spesso è pensato principalmente per altri usi e non è immediatamente fruibile (andrebbe lasciato perennemente acceso, il che comporterebbe un notevole consumo energetico), oltre al fatto che il software del sistema di controllo andrebbe spesso aggiornato; l'alternativa è utilizzare un controllo remoto sfruttando la rete internet, in questo modo si alleggerisce il carico di lavoro del PC ma è necessario disporre in qualsiasi momento di una connessione a banda larga (perché la quantità di dati non è gestibile dalla connessione a 56k).

Le novità vere introdotte dalla domotica stanno negli ultimi due sistemi di interfaccia, ovvero i pannelli touch-screen e i dispositivi a comando vocale. I primi uniscono la semplicità di visualizzazione della tastiera (comandi rappresentati da icone e opzioni organizzate in menu "a cascata") con l'immediatezza di comando del mouse (il puntatore in questo caso è il dito, mentre l'attivazione del comando avviene mediante semplice pressione dello schermo in

prossimità dell'icona scelta); i secondi, più evoluti, non necessitano di nessun contatto diretto con il dispositivo, ma i comandi vengono inviati direttamente con la voce, o memorizzando delle parole o frasi nella memoria del registratore (sistemi *speaker dependent*) o semplicemente rispondendo a domande poste dal sistema, il quale intuisce la risposta tra poche opzioni disponibili, ad esempio sì/no, aperto/chiuso, ecc. (sistemi *speaker independent*).

L'ultima soluzione, non citata all'inizio, in realtà è un mix dei pregi delle altre, ovvero è l'utilizzo del televisore come interfaccia-utente. Praticamente si sfrutta lo schermo della TV e il relativo telecomando (ma esistono anche TV touch-screen) come se fosse un normale schermo dedicato, potendo però in ogni momento *switchare* dalla funzione di comando a quella di televisore e viceversa.

4.3.4 Funzionalità aggiuntive

Intrattenimento e tempo libero

Le nostre case e alcuni luoghi pubblici già da tempo dispongono di apparecchiature in grado di favorire il relax e la propria creatività. Tra questi si possono citare gli apparecchi radiotelevisivi, i videoregistratori, le videocamere, gli impianti stereo, i lettori CD-DVD, le antenne paraboliche e i decoder. Tuttavia, per poter essere considerati parte integrante di un edificio intelligente occorre che siano in grado di integrare tra loro altri dispositivi in maniera semplice, sfruttando le risorse audio-video per usufruire di alcuni servizi essenziali come la citofonia, la videocitofonia ed eventuali impianti di sorveglianza.

Mentre un impianto tradizionale dimostra di non prestarsi pienamente al sopraggiungere di nuove esigenze frutto di uno sviluppo tecnologico sempre più spinto, risultano molto più efficaci le applicazioni basate sulla logica BUS che, grazie proprio a questa tecnologia e ai relativi sistemi di interfaccia permettono di comandare nel modo più semplice possibile i vari dispositivi. Le soluzioni normalmente in commercio consentono oggi di:

- usufruire di riproduzioni di qualità in qualsiasi punto dell'edificio dotato di diffusori, grazie ai sistemi *multi-room* (si pensi, non solo alla propria abitazione, ma soprattutto ai locali notturni o ai grandi magazzini);
- realizzare riproduzioni di qualità molto elevata grazie ai sistemi *home theatre*.

Sfruttando il normale impianto Hi-Fi, oppure un ricevitore satellitare, un lettore DVD, ecc. si può distribuire il segnale audio-video in una rete appositamente creata garantendo la condivisione delle medesime sorgenti sui diversi schermi o casse acustiche presenti nell'ambiente. Le soluzioni più semplici sono del tipo *multiroom single source* e consentono la riproduzione del medesimo contenuto nei vari locali, mentre quelle più evolute permettono di differenziare anche il contenuto potendo inviare segnali diversi da zona a zona (soluzioni *multiroom multi source*).

La grande novità quindi che attiene ad una gestione altamente flessibile ed integrata del sistema sta proprio nel suo utilizzo "domotico". Il controllo delle operazioni di un'applicazione audio-video di questo genere, infatti, può essere effettuato anche in luoghi fisicamente distanti rispetto al cuore del sistema. Il sottosistema *home theatre*, ad esempio, diventa integrato nell'interfaccia del sistema domotico e può essere incluso in comandi di gestione dell'unità nel suo complesso o di sue sottoparti, risultando più semplice e immediato nell'uso. Il ramo dell'intrattenimento domestico è poi particolarmente adatto per spiegare il concetto di "scenario": con un solo click (su un pulsante o su uno schermo interattivo) è infatti possibile creare la situazione ideale per la visione di un film, abbassando automaticamente luci e tapparelle, gestendo la riproduzione e la proiezione e qualsiasi altra componente che possa

creare l'atmosfera più adatta. In ogni caso, quello che si vuole far capire è che grazie a queste soluzioni è sempre possibile effettuare regolazioni singole o combinate altamente personalizzate da e per qualsiasi ambiente della casa o dello spazio considerato.

Soluzioni per i disabili

Il discorso relativo a questo ambito in realtà non è un discorso distaccato, ma consiste nell'applicazione delle già citate soluzioni in maniera molto più marcata e con dispositivi estremamente più sofisticati. L'allestimento di un sistema domotico in questo senso varia moltissimo in base al tipo e al grado di difficoltà che l'utente detiene: possono esserci ad esempio difficoltà motorie riguardanti solo gli spostamenti o particolari movimenti (come potrebbe essere per un anziano), per le quali magari è sufficiente installare gli stessi comandi usati normalmente ma collocati in posizioni più agevoli, oppure necessità più complesse come per chi ha perso gli arti superiori e si trova a dover interagire esclusivamente tramite comandi vocali o con sensori appositi (di presenza, di pressione, ecc.); vi sono poi i casi estremi di completa disabilità in cui si rende necessario installare sistemi altamente tecnologici come quelli basati sul movimento degli occhi. In ogni caso l'architettura di base rimane la medesima.

Capitolo 5

Monitoraggio carichi elettrici e illuminazione artificiale

Lo studio del Progetto MICENE illustrato al capitolo 2.2 è indubbiamente utile se finalizzato alla determinazione del consumo energetico medio annuale, o al più giornaliero od orario, e su scala nazionale; tuttavia, rilevando i dati con una frequenza di 10 minuti, esso si dimostra utile per ottenere dei profili di consumo con una modesta precisione (non si considerano situazioni particolari). Eventi quali picchi o cali di tensione/corrente e altre anomalie che nell'arco anche solo di un'ora sono insignificanti, se valutati istantaneamente possono dare origine a conseguenze non trascurabili come il distacco dell'alimentazione per superamento dei limiti di fornitura.

A questo proposito è stata svolta una campagna di misura volta a far emergere queste informazioni, valutando l'andamento dell'assorbimento elettrico dei carichi. Verranno descritte le caratteristiche dei carichi più comuni che caratterizzano l'ambiente domestico (frigorifero, forno, lavatrice, ecc.), il modo in cui solitamente vengono utilizzati e l'assorbimento che essi hanno durante il loro ciclo d'uso, focalizzando l'attenzione su alcuni parametri principali (valori di picco, valori medi, avvio, ecc.). Così facendo è stato possibile ricavare per ognuno di essi l'andamento esatto della potenza dissipata nell'arco del loro utilizzo, distinguendo i periodi a maggior consumo da quelli a consumo minore; ciò evidentemente non è possibile leggendo semplicemente la targhetta energetica, la quale riporta solamente la potenza nominale, e un controllo dei consumi energetici basato su queste informazioni sarebbe molto limitato e grossolano. Realizzando invece dei profili di consumo generici ma rappresentativi per ogni carico, partendo da essi e in funzione poi delle caratteristiche del singolo modello proposto è possibile stabilire non solo una priorità di distacco dei carichi univoca e costante, bensì un vero e proprio "profilo di priorità" che aumenta di fatto l'efficacia del sistema di gestione automatizzata installato, rendendo gli interventi molto più flessibili con conseguente guadagno in termini di consumi e di comfort.

In aggiunta, nell'ultima parte sono state analizzate alcune sorgenti luminose in modo da completare il più possibile il quadro degli utilizzi elettrici e costituire la base per successivi lavori di ricerca anche in merito al settore degli uffici; in questi ambienti, infatti, l'illuminazione artificiale rappresenta circa la metà dei consumi elettrici e concentrandosi su questo aspetto si possono ottenere margini di risparmio molto ampi.

5.1 Il sistema di monitoraggio

Per l'acquisizione dati ci si è serviti di uno strumento appositamente realizzato, il quale può essere definito sinteticamente come un by-pass della presa di corrente (*Figura 5.1*). Esso infatti si pone tra la presa di corrente e la spina del carico in modo da leggere i dati relativi all'alimentazione elettrica, a monte di eventuali componenti interni come trasformatori, starter, ecc.

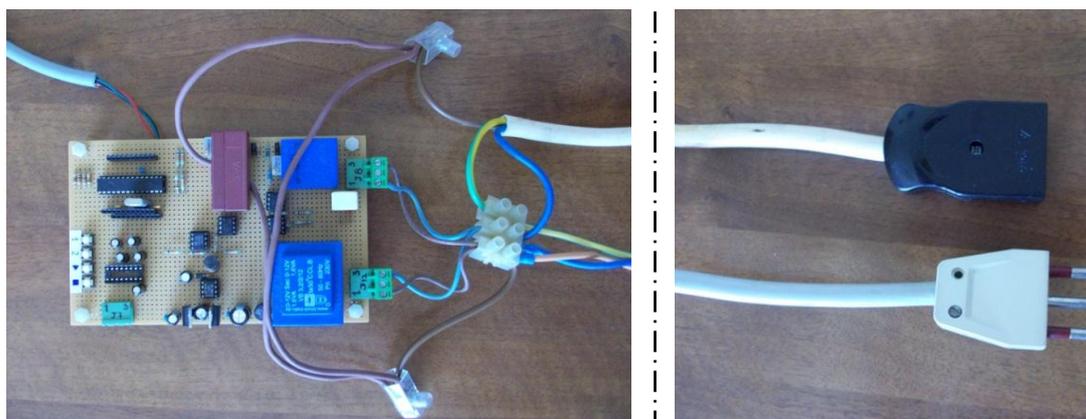
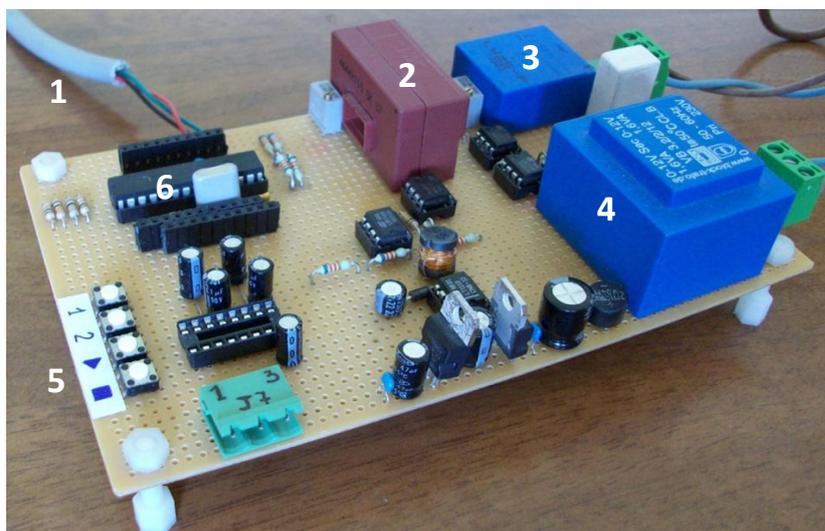


Figura 5.1 – Visione di insieme della scheda di monitoraggio in cui sono visibili a destra i due tratti del cavo di potenza e, in alto a sinistra, il cavo dati diretto al PC.

Si tratta di una scheda elettronica (Figura 5.2) alimentata alla tensione di rete, composta da un circuito interno funzionante in bassissima tensione collegato a due rilevatori, uno di tensione e uno di corrente. Il collegamento alla rete elettrica è realizzato mediante un normale cavo bipolare più terra con guaina isolante, dotato di presa ad un capo e di spina all'altro (entrambe con portata 16 A) e sezionato nel mezzo per collegarlo ai pin di ingresso ed uscita della scheda stessa. Dalla fase e dal neutro del cavo collegato alla rete si dipartono quindi quattro cavi, collegati a coppie F-N sia al trasformatore di alimentazione della scheda stessa sia al rilevatore di tensione; in questo caso i cavi hanno sezione ridotta in quanto la funzione è esclusivamente quella di leggere il ΔV istantaneo ai capi dei conduttori, senza vincoli sulla corrente circolante. La rilevazione della corrente è invece realizzata attraverso un sensore toroidale all'interno dal quale viene fatto passare il cavo di fase diretto al carico; in questo modo si misura direttamente la variazione di campo elettromagnetico e la si converte nel corrispondente valore di corrente. La trasmissione dei dati verso un PC è garantita da una comunicazione tramite cavo seriale (RS-232) impostata alla velocità di 115.200 kbs, mentre l'elaborazione e l'interfaccia di gestione del processo è affidata ad un programma in VisualBasic appositamente realizzato (Figura 5.3).



LEGENDA

- 1) Cavo dati
- 2) Rilevatore di corrente
- 3) Rilevatore di tensione
- 4) Trasformatore di alimentazione interna
- 5) Tasti di comando
- 6) Microcontrollore

Figura 5.2 – Ingrandimento della scheda di monitoraggio con indicazione dei componenti principali.

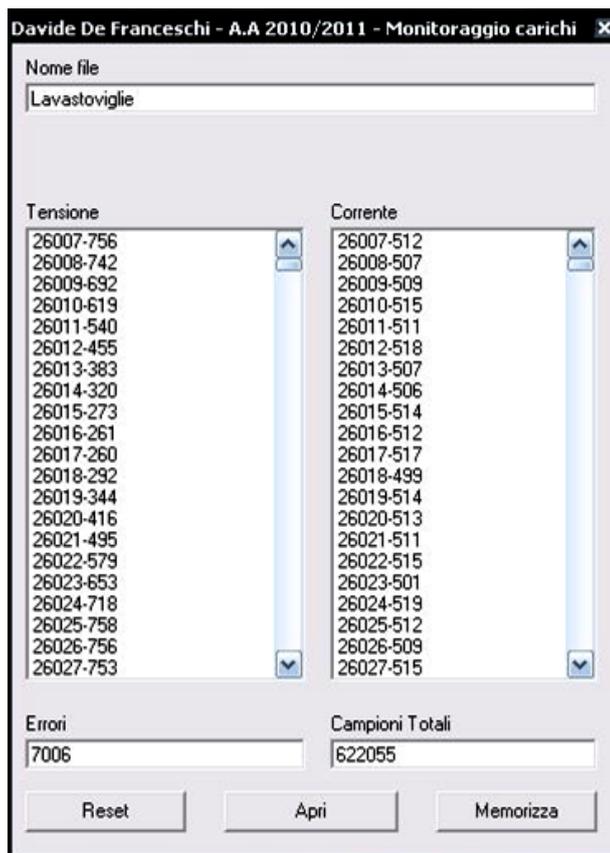


Figura 5.3 – Interfaccia del software di calcolo: i dati nelle due colonne sono composti dal numero progressivo del campione inviato e dal valore ad esso associato (che non è in V o A ma va convertito successivamente).

Questo software consente di creare dei file di testo all'interno dei quali verranno trascritti riga per riga i valori istantanei di tensione e corrente durante il campionamento; l'importazione dei dati in Excel permette infine di creare opportuni grafici. Secondo le impostazioni scelte per questo tipo di monitoraggio, il programma è in grado di inviare un pacchetto di dati (coppia tensione-corrente) ogni millisecondo, in modo da ricostruire ogni periodo d'onda con venti punti. Inoltre, all'interno del codice di calcolo sono presenti operazioni di controllo che evitano la trasmissione di dati errati per non creare sfasamenti tra tensione e corrente; ad ogni modo, grazie ad alcuni contatori che seguono il processo si può verificare che gli errori di rilevazione, e quindi i dati persi, si attestano a circa l'1%.

Per quanto riguarda la misura della corrente, poiché la potenza massima dei vari carichi non è omogenea e visto che la scheda di acquisizione ha un intervallo di misura limitato, le configurazioni sono state differenti in base alla situazione: per le potenze medie (tra 200 W e 700 W circa) si è misurata la corrente con rapporto 1:1; per quelle piccole, al fine di avere dei dati più precisi e meno segmentati, il segnale è stato amplificato avvolgendo più volte il cavo all'interno del rilevatore di corrente, utilizzando poi opportuni coefficienti per ricavare il valore reale; infine, per le potenze oltre 700 W si è creato un partitore di corrente sdoppiando il cavo di fase con un preciso criterio e facendone passare nel rilevatore uno solo, determinando nuovamente con calcoli la corrente realmente assorbita.

Poiché i dati di output provenienti dal sistema di monitoraggio non sono nelle giuste unità di misura (tensione e corrente sono rappresentati da un numero intero compreso tra 0 e 1024), per avere i valori corretti è necessario applicare ad essi le seguenti formule:

$$\text{Tensione: } [V] = \frac{(V_{OUT} - 512) \cdot 0,00488}{K_T} \cdot \frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{R_1}{(R_3 + P_1)} \quad [2]$$

$$\text{Corrente: } [A] = \frac{(A_{OUT} - 514) \cdot 0,00488}{K_C \cdot A} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{(R_{82} + P_2)} \quad [3]$$

Dove:

- V_{OUT} e A_{OUT} sono i valori di tensione e corrente inviati dalla scheda;
- R_N sono resistenze del circuito ($R_1 = 47 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 33 \text{ }\Omega$; $R_4 = 4700 \text{ }\Omega$; $R_{82} = 10 \text{ }\Omega$);
- P_N sono dei trimmer, cioè resistenza regolabili manualmente ($P_1 = 124 \text{ }\Omega$, $P_2 = 147 \text{ }\Omega$);
- K_T è il rapporto di conversione del sensore di tensione ($K_T = 25:10$);
- K_C è il rapporto di conversione del sensore di corrente ($K_C = 1:1000$);
- N è il numero di passaggi (spire) del cavo di fase nel sensore di corrente;
- A è il guadagno dell'amplificatore operazionale ($A = 1$).

Una piccola premessa da fare prima di procedere è in merito alla visualizzazione dei dati: per quanto riguarda i grafici della corrente efficace, i picchi istantanei non riconducibili a reali variazioni dell'assorbimento del carico sono dovuti principalmente a disturbi o a errori di misura; nel caso della potenza media, per gli stessi motivi, quando la corrente è prossima allo zero si potrebbero avere anche dei valori negativi (per comodità, la parte negativa è stata riportata a titolo di esempio solo per il frigocongelatore, per tutti gli altri i valori partono da zero).

5.2 Frigocongelatore

L'apparecchio con cui si intende cominciare è uno di quelli assolutamente indispensabili in un ambiente domestico, mentre è molto raro in ambienti di ufficio (al suo posto è più facile trovare, in alcuni casi, dei minifrigoriferi senza congelatore). L'unica caratteristica che lo distingue da un semplice frigorifero sta nel possedere un reparto separato (ma unito nello stesso apparecchio) per la congelazione dei cibi. Mentre nella zona del frigorifero la temperatura si mantiene sui 3-4 °C circa, nella zona di congelamento non si superano gli 0 °C, consentendo di raggiungere condizioni intermedie tra quelle del frigorifero e quelle di un congelatore vero e proprio (che raggiunge anche i -15 °C).

Il funzionamento di un frigocongelatore, come anche degli altri apparecchi per la conservazione dei cibi, è relativamente semplice: nella parte interna è collocato un termostato, la cui temperatura di set-point è regolata tramite una rotellina graduata (che non consente di selezionare una temperatura precisa, ma riporta degli stadi di funzionamento, circa 5 o 6, in funzione della quantità di cibo e della temperatura esterna); quando la temperatura scende al di sotto di questa soglia si aziona il ciclo frigorifero, il quale ha un elevato assorbimento nella fase iniziale (poiché è presente un motore, caratterizzato da uno spunto di partenza significativo) per poi scendere a regime ad un livello inferiore.

Vediamo di spiegare brevemente come funziona un ciclo frigorifero, per capire in che modo esso si relaziona con l'assorbimento di energia elettrica. Un ciclo di questo tipo (chiamato anche "pompa di calore" quando l'obiettivo è anche quello di riscaldare) è costituito da 6 componenti essenziali:

- una sorgente fredda, ovvero il mezzo da cui si estrae calore;
- un "pozzo caldo", ovvero il mezzo a cui si cede il calore estratto;
- un compressore;
- un condensatore;

- una valvola di laminazione (espansione);
- un evaporatore;
- il fluido frigorifero³⁶ (negli apparecchi domestici si usa il Freon)

Quando scatta il termostato, il compressore comprime il fluido frigorifero (gas a bassa pressione e a temperatura prossima a quella ambiente) proveniente dall'evaporatore, facendone aumentare la temperatura; successivamente, il fluido allo stato gassoso passa prima in un condensatore (la serpentina posta sul retro dell'apparecchio), nel quale cede calore per convezione naturale all'aria esterna e ritorna liquido, poi attraversa una valvola di espansione trasformandosi parzialmente in vapore e raffreddandosi ulteriormente (stavolta in conseguenza della diminuzione di pressione); l'ultima parte del ciclo consiste nell'evaporazione, ovvero l'assorbimento di calore da parte del fluido sottoraffreddato fino al completo passaggio di stato. Quest'ultima fase è quella che effettivamente caratterizza il funzionamento del frigorifero, in quanto la serpentina contenente il fluido freddo corre nell'intercapedine a contatto con le pareti interne, assorbendo quindi il calore prodotto dai cibi ed espellendolo poi nella successiva fase di evaporazione.

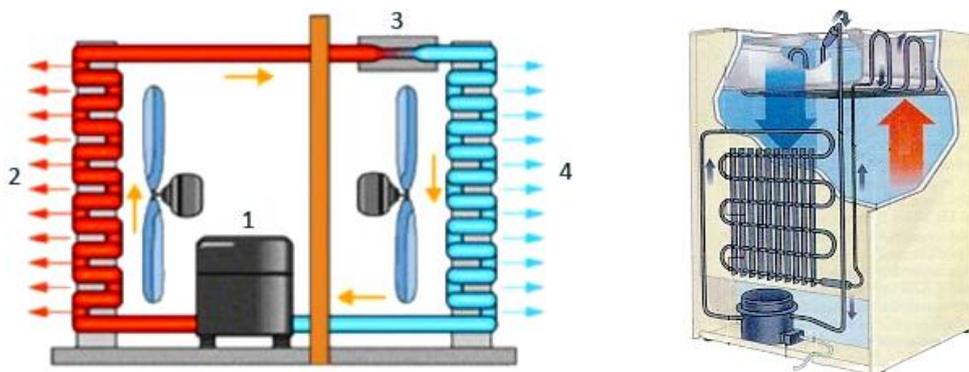


Figura 5.4 – Ciclo frigorifero schematico (le ventole rappresentano lo scambio termico convettivo) e spaccato di un frigorifero comune (1 = compressore, 2 = condensatore, 3 = valvola di espansione, 4 = evaporatore).

Per quanto riguarda l'utilizzo, si tratta di un apparecchio che necessariamente deve rimanere sempre acceso, per evitare che con l'aumentare della temperatura possano andare a male i cibi contenuti. Poiché l'involucro è ovviamente isolato termicamente rispetto all'esterno, il funzionamento vero e proprio è di tipo intermittente: una volta raggiunta la temperatura minima impostata si spegne finché la temperatura non supera il valore massimo di riferimento (ovviamente il funzionamento è variabile in base alla temperatura ambiente). Per poter effettuare delle stime sul consumo, il funzionamento rilevato è stato di circa 20 minuti, variabili ovviamente in base alla frequenza delle aperture, seguiti da circa 40 minuti di inattività. In *Tabella 5.1* sono contenute le informazioni che fornisce il produttore, da confrontare poi con quelle ricavate in fase di monitoraggio.

³⁶ La resa frigorifera aumenta con la velocità di passaggio di stato liquido-gas, quindi un fluido sarà tanto migliore quanto maggiore sarà la sua velocità d'evaporazione; tra le sostanze comunemente utilizzate compaiono il Freon R22 (vietato dal 2010 in quanto dannoso per l'ozono) e il Freon R134a (non dannoso per l'atmosfera), oppure l'azoto liquido laddove si richiedano temperature estreme.

Marca e modello	Indesit IN-D240
Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Classe di efficienza energetica	B
Consumo annuo stimato	383 kWh/anno
Sistema di raffreddamento	Statico
Classe congelatore	****
Posizione congelatore	In alto
Rumorosità	0 dB
No Frost	No
Capacità totale netta	227 l
Capacità reparto frigorifero	184 l
Capacità reparto freezer	43 l
Dimensioni (L x H x P)	540 x 1415 x 550 mm

Tabella 5.1 – Specifiche tecniche frigocongelatore.



Figura 5.5 – Esempio di frigocongelatore del modello monitorato.

In *Figura 5.6* si vede l'andamento dei valori efficaci all'avvio e per un certo periodo di attività, sufficientemente esteso per rendere leggibili tutte le varie fasi: avvio, precompressione e regime. Come si osserva dal grafico, la partenza iniziale del compressore (fase A), della durata di soli 0,2 s, causa il picco maggiore (1750 W), mentre la gobba successiva (1250 W circa) è rappresentata dalla fase di precompressione (fase B), anch'essa molto breve (circa 1 s);

inizialmente, infatti, il circuito non è ancora alla pressione di lavoro³⁷ e quindi il compressore deve lavorare maggiormente, per poi calare progressivamente di potenza mano a mano che ci si avvicina alle condizioni di regime; in questa fase si registra anche una significativa riduzione di tensione pari a circa 4 V, a testimonianza dell'intensa attività energetica. Una volta a regime (fase C), l'assorbimento decresce ulteriormente stabilizzandosi intorno a 125-130 W fino al termine del ciclo, che come è stato detto dura approssimativamente 20 minuti. Nelle immagini successive (Figura 5.7, Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10) sono ingranditi i tratti principali in modo da rappresentare anche l'andamento delle grandezze istantanee. Come si può vedere, per tutto il periodo di funzionamento l'assorbimento è riconducibile a una sinusoide pura (la segmentazione è dovuta alla sensibilità dello strumento di misura), con un minimo ritardo della corrente rispetto alla tensione (dai dati si registra un ritardo di 0,002 s).

I commenti da fare in proposito non sono molti, in quanto il funzionamento dell'apparecchio è piuttosto semplice, tuttavia il diagramma può essere utile anche ad un utilizzatore inesperto; attraverso queste informazioni egli può infatti farsi un'idea di come quest'oggetto comune consumi l'energia elettrica dalla rete, facilitando dei possibili ragionamenti riguardanti l'incidenza del funzionamento del frigorifero rispetto alla massima potenza contrattualmente impiegata e gli effetti di una contemporaneità di carichi attivi. In conclusione a questo paragrafo riassumiamo in una tabella le principali informazioni ottenute dal monitoraggio relativamente al consumo di energia elettrica.

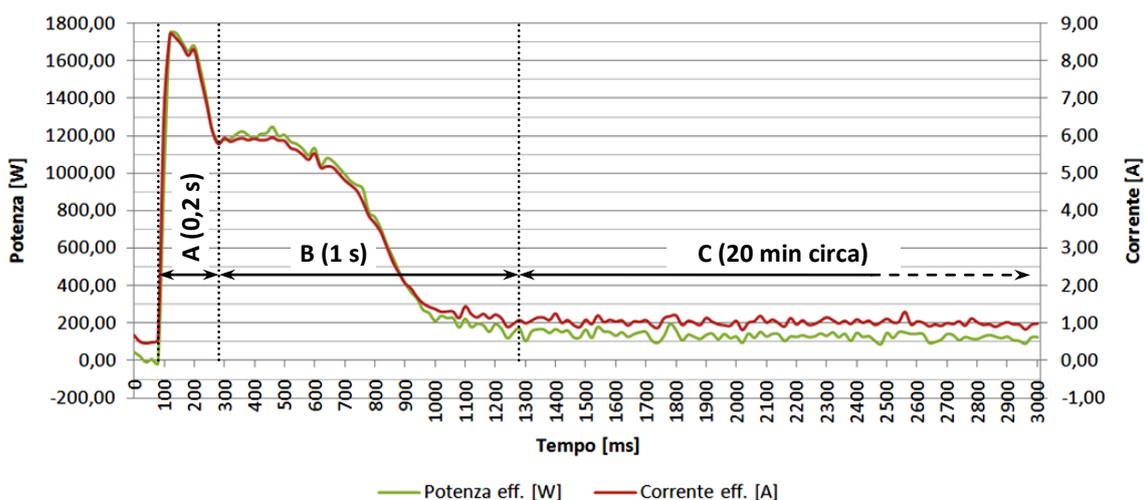


Figura 5.6 – Frigocongelatore: andamento globale di corrente efficace e potenza media.

³⁷ Ogni volta che stacca il termostato, infatti, la pressione del circuito viene fatta calare attraverso apposite valvole; questo è necessario perché, se il circuito rimanesse in pressione una volta terminato il raffreddamento, il motore del compressore farebbe molta fatica a riavviare il pistoncino per il ciclo successivo.

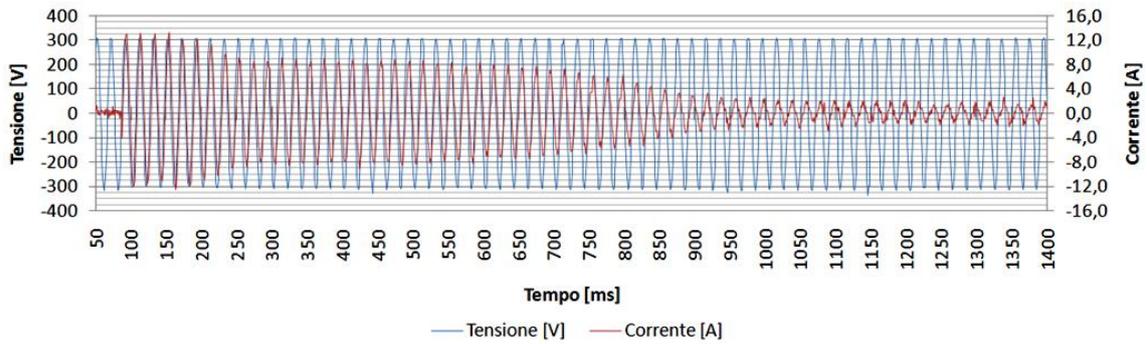


Figura 5.7 – Frigocongelatore: andamento globale di tensione e corrente istantanee dall'avvio alle condizioni di regime.

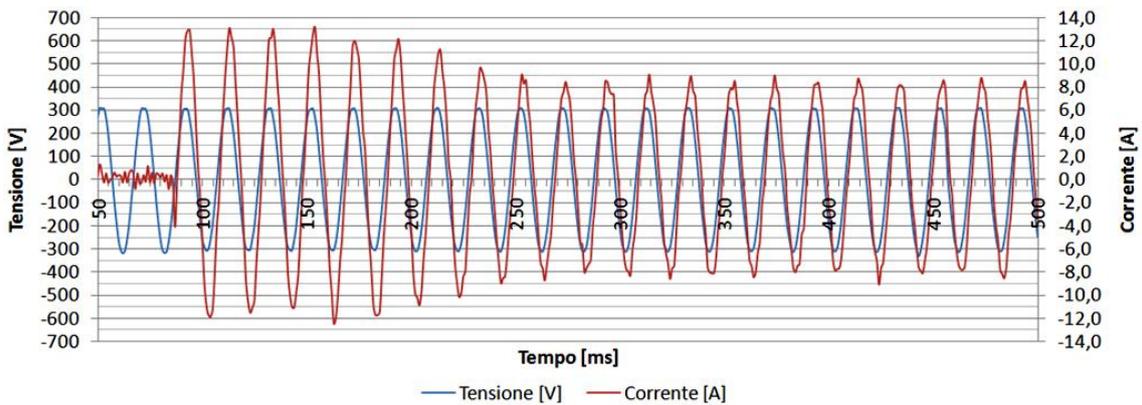


Figura 5.8 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio del compressore.

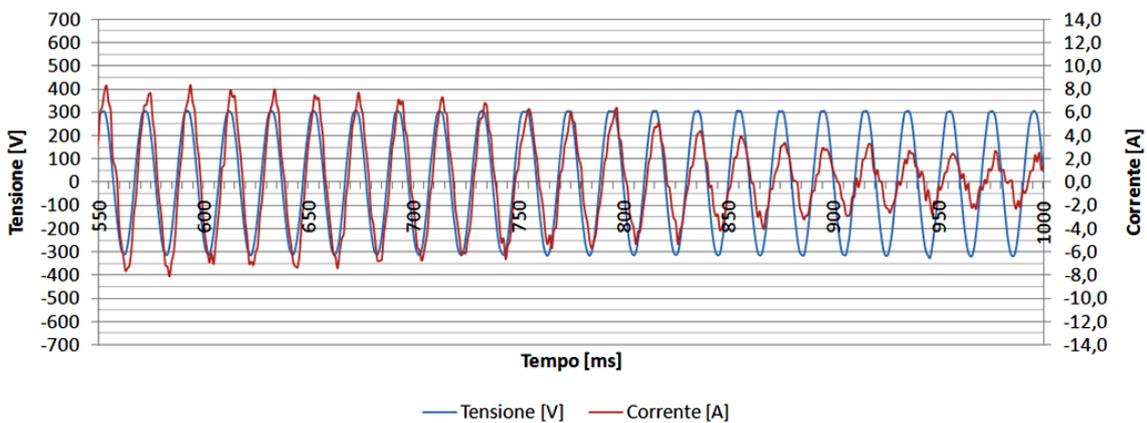


Figura 5.9 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee al raggiungimento della pressione di regime.

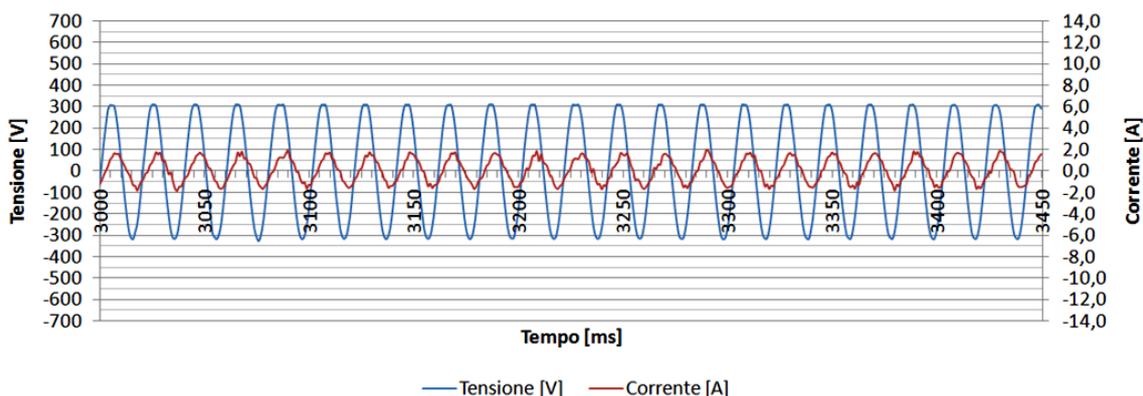


Figura 5.10 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO PER CICLO [Wh]	CONSUMO MEDIO ANNUALE* [kWh]
Avvio	0,2	8,7	7,4	1750,0	1450,0	0,1	0,9
Precompr.	1,0	5,9	3,4	1247,9	684,7	0,2	1,8
Regime	1199	1,3	1,0	195,2	127,9	53,3	466,9
Totale	1200 (20 min)	8,7	1,0	1750	128,5	42,8	~ 470

* Stimato a partire dai dati misurati, ossia un ciclo ogni ora e ipotizzando questo funzionamento (misurato in mezza stagione) per tutto l'anno.

Tabella 5.2 – Tabella riassuntiva del consumo del frigocongelatore (in un tipico giorno di mezza stagione).

Dalle analisi condotte è emerso un consumo annuale molto maggiore rispetto a quello indicato dal produttore (383 kWh/anno, cioè circa il 19% in meno di quello ricavato), tuttavia va ricordato che questo è frutto di stime e approssimazioni fatte a partire da pochi casi e in condizioni non completamente rappresentative; infatti, anche se i dati sono stati raccolti in una stagione intermedia, essendo dipendente dalla temperatura esterna il comportamento del frigorifero varia sensibilmente a livello sia giornaliero sia stagionale.

5.3 Congelatore

Il discorso relativo al congelatore (di tipo verticale) è del tutto analogo a quello fatto in precedenza per il frigocongelatore, in quanto si tratta di apparecchi con la medesima funzione e contraddistinti solamente dalla potenza elettrica in gioco, che in questo caso è maggiore poiché proporzionale alla potenza frigorifera richiesta. Nello specifico, lo spunto del compressore arriva ad assorbire circa 2200 W (con anche qui un calo di tensione intorno a 4 V), scendendo a circa 1500 W in fase di precompressione per stabilizzarsi poi a poco più di 130 W costanti.

Qui di seguito sono elencati i dati tecnici dell'apparecchio, accompagnati da alcune immagini raffiguranti l'esempio preso in esame. Successivamente si procederà ad illustrare i risultati del monitoraggio.

Marca e modello	Samet CP 200-S
Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Potenza massima	140 W

Tabella 5.3 – Specifiche tecniche congelatore.



Figura 5.11 – Foto del congelatore monitorato.

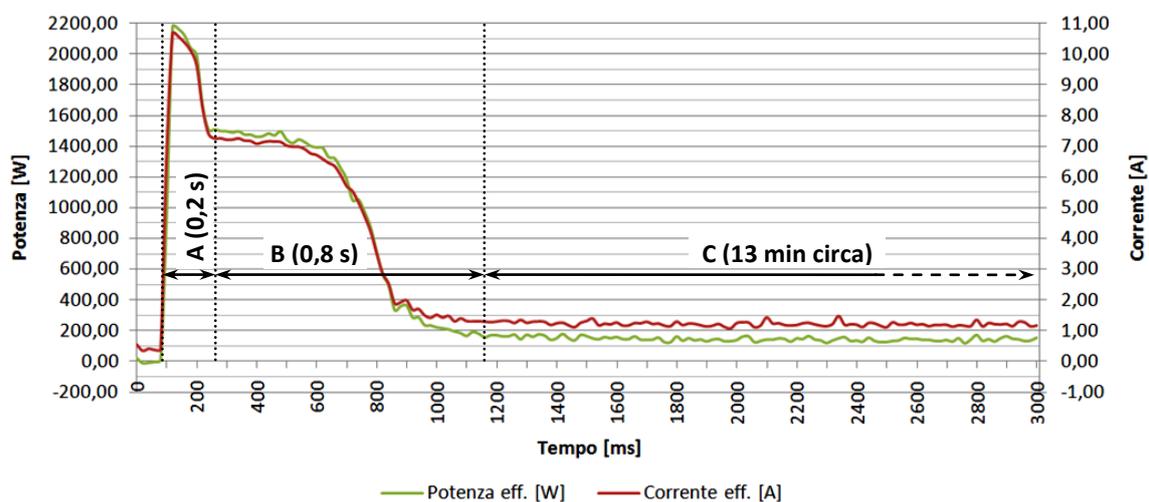


Figura 5.12 – Congelatore: andamento globale di tensione e corrente efficaci.

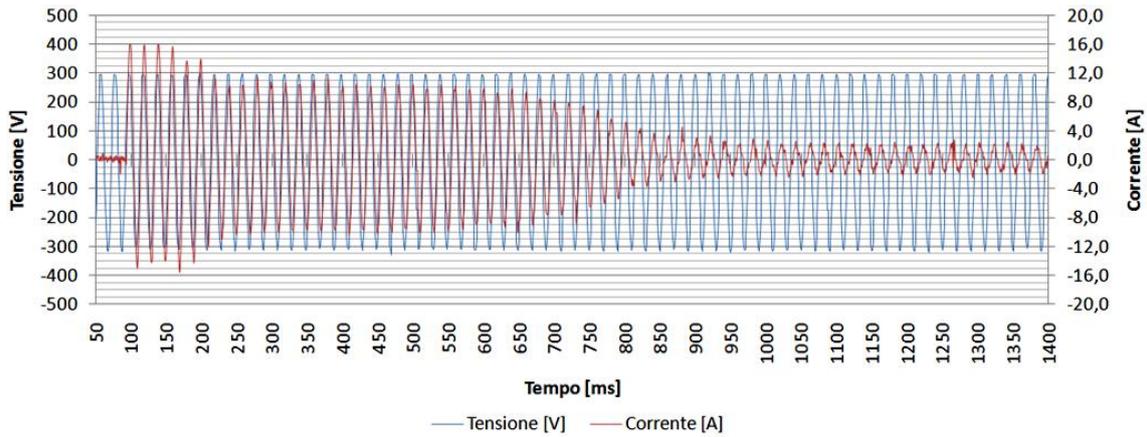


Figura 5.13 – Congelatore: andamento globale di tensione e corrente istantanea dall'avvio alle condizioni di regime.

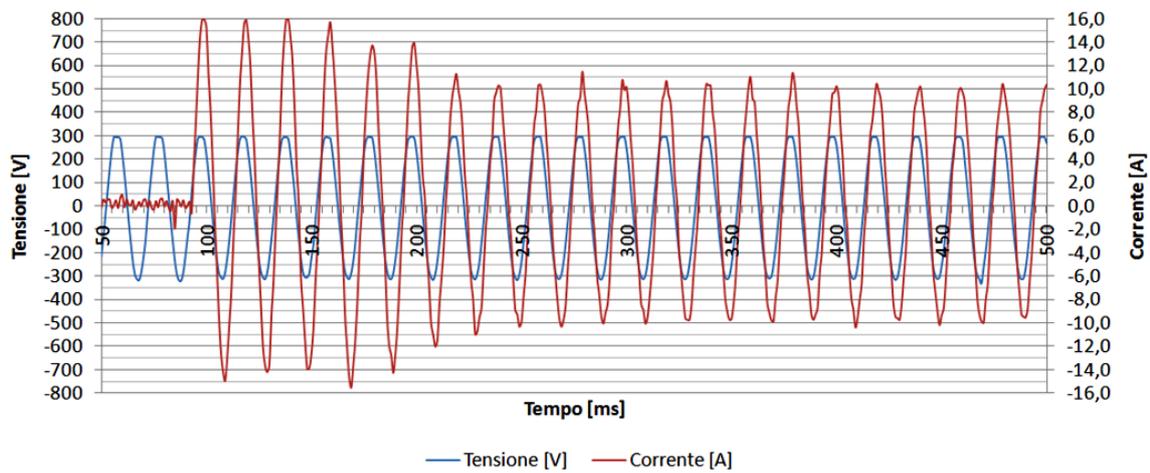


Figura 5.14 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanea all'avvio del compressore.

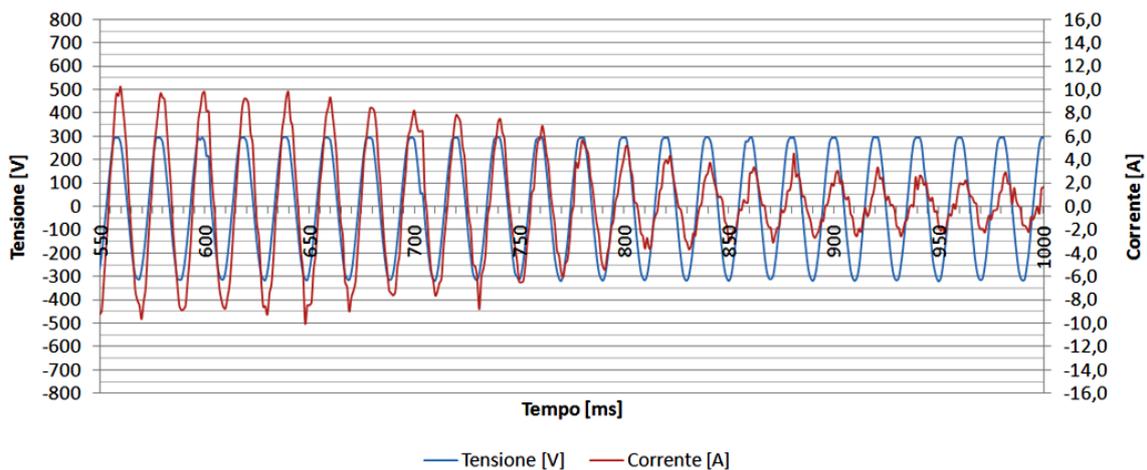


Figura 5.15 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanea al raggiungimento della pressione di regime.

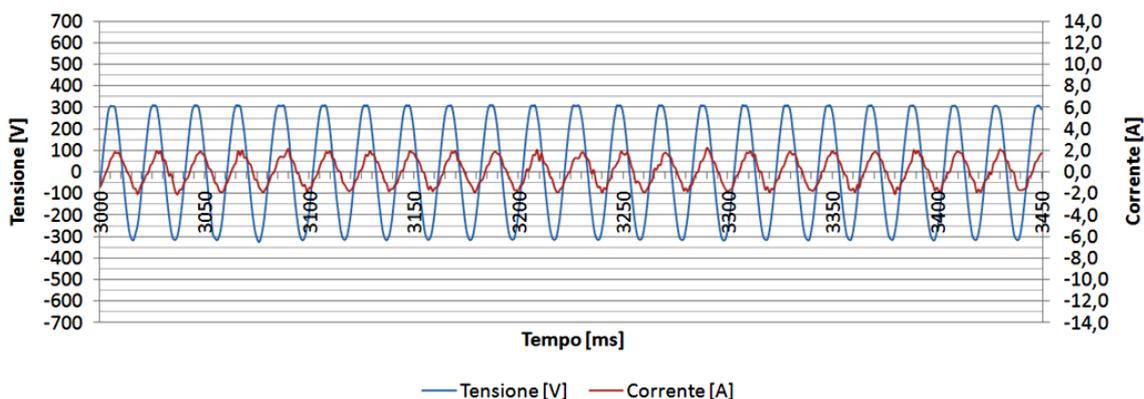


Figura 5.16 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.

La tabella conclusiva riportata di seguito riassume le principali caratteristiche di assorbimento energetico del congelatore verticale, per il quale è stato registrato mediamente un ciclo di 12-13 minuti alternato a 17-18 minuti di spegnimento (quindi due cicli ogni ora). Anche in questo caso sono state fatte le stesse ipotesi di funzionamento adottate per il frigocongelatore, quindi per avere un dato più vicino a quello reale si può decurtare questo valore della stessa percentuale (19%); il consumo reale più probabile si attesterebbe quindi intorno a 410 kWh/anno, comunque maggiore di quello del frigocongelatore.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO PER CICLO [Wh]	CONSUMO MEDIO ANNUALE* [kWh]
Avvio	0,2	10,0	8,9	2050	1770	0,10	1,8
Precompr.	1,2	6,9	3,9	1440	765	0,26	5,6
Regime	778	1,3	1,1	184	132	28,5	499,3
Totale	780 (13 min)	10,0	1,1	2050	133,4	28,9	~ 506

* Stimato a partire dai dati misurati, ossia due cicli ogni ora e ipotizzando questo funzionamento (misurato in mezza stagione) per tutto l'anno.

Tabella 5.4 – Tabella riassuntiva del consumo del congelatore (in un tipico giorno di mezza stagione).

5.4 Forno a microonde

Un altro apparecchio che ormai è entrato a far parte dell'allestimento domestico standard è il forno a microonde. Si tratta di un tipo di forno da cucina in cui, a differenza di un forno tradizionale, la cottura del cibo è principalmente dovuta all'effetto riscaldante delle microonde.

Vediamo di fornire sinteticamente qualche nozione fisica necessaria per comprenderne il funzionamento. Quando una molecola polarizzata viene immersa in un campo elettrico (che è direzionato), essa tende ed orientarsi allineando il suo dipolo nella medesima direzione del campo. Se il campo elettrico viene ripetutamente invertito, la molecola è costretta a riposizionarsi a ogni inversione. Ciascuna molecola possiede una frequenza caratteristica, detta frequenza di risonanza, che corrisponde a quella in cui il fenomeno sopra descritto è massimo e più efficiente. Oltre che ruotare, però, a velocità elevate la molecola inizia anche a vibrare e

l'effetto a livello macroscopico di questo movimento è proprio l'aumento della temperatura. Questo sostanzialmente è il principio su cui si basa il riscaldamento a microonde.

Sotto l'aspetto più tecnico, il meccanismo di funzionamento è il seguente: un dispositivo, chiamato "magnetron", genera un campo elettromagnetico variabile, ovvero la radiazione a microonde. L'oscillazione del campo elettromagnetico alla frequenza di 2,45 GHz è capace di amplificare le oscillazioni nelle molecole che possiedono polarizzazione (principalmente acqua, ma anche lipidi, proteine e zuccheri). Poiché di fatto le nostre vivande sono composte per lo più da acqua, assorbono efficacemente l'energia del campo elettrico a tale frequenza. Un aspetto fondamentale da tenere in considerazione è quello per cui la generazione del microonde dipende dalle caratteristiche del magnetron; esso infatti può essere o completamente attivo o completamente inattivo e non può essere modulato (perché a frequenze diverse non ci sarebbe la generazione di microonde), quindi per regolare la potenza su livelli parziali è necessario operare il "controllo a treni d'onda", ovvero il funzionamento intermittente ad intervalli variabili.

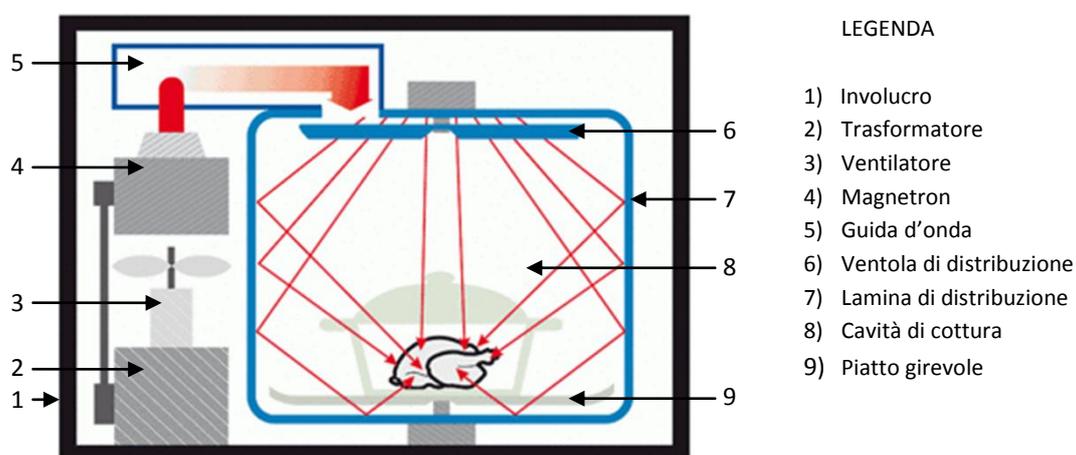


Figura 5.17 – Principio di funzionamento di un microonde.



Figura 5.18 – Foto del microonde monitorato ed esempio di magnetron.

Come facilmente si capisce, questo sistema di riscaldamento è completamente diverso rispetto a quello convenzionale, infatti sono le zone più ricche di acqua o lipidi, che generalmente sono nella parte più interna, a riscaldarsi per prime e a diffondere poi il calore alle altre zone. In un forno elettrico normale, invece, il calore può passare per irraggiamento e conduzione solo dagli strati più esterni a quelli interni. Per questo motivo, poiché un forno a microonde l'energia viene rilasciata uniformemente all'interno del volume della pietanza, nei cibi cotti con questo sistema non si formano croste croccanti, come invece accade usando un forno tradizionale.

Nel caso specifico, il modello analizzato possiede prestazioni medie: è dotato di piatto girevole e di ben nove combinazioni di potenza differenti ma le regolazioni sono solamente analogiche, quindi è utilizzabile come modello su cui fare osservazioni di carattere generale. In *Tabella 5.5* riportiamo le caratteristiche principali.

Per ogni combinazione di potenza il monitoraggio è stato effettuato partendo con l'apparecchio spento, facendo partire prima la raccolta dati e attivando immediatamente dopo il forno.

Marca e modello	Bimar B825
Alimentazione	230 V ~ 50 Hz
Potenza massima di entrata	1300 W
Potenza del grill	800 W (IEC 705)*
Frequenza microonde	2450 MHz
Capacità	17 l
COMBINAZIONI DI POTENZA	
Low	18% microonde
Mid Low	36% microonde
Medium	58% microonde
Mid High	81% microonde
High	100% microonde
Combi 1	30% microonde + 70% grill
Combi 2	49% microonde + 51% grill
Combi 3	67% microonde + 33% grill
Grill	100% grill
* Misurato dalla IEC (Commissione Internazionale per le Apparecchiature Elettriche) con alimentazione controllata a 230 V ~ 50 Hz.	

Tabella 5.5 – Specifiche tecniche forno a microonde.

Poiché, come è stato detto, un forno a microonde non può modulare direttamente la potenza assorbita, la variazione viene effettuata agendo sulla durata di accensione del magnetron collocato al suo interno; quanto più esso rimane attivo, tanto maggiore sarà la potenza termica trasmessa alle vivande. In *Figura 5.19* e in *Figura 5.20* si riporta ad esempio il funzionamento in fase "Low", in modo da illustrare in maniera generale il funzionamento dell'apparecchio.

Prima che si attivi il microonde a piena potenza è necessario un periodo di riscaldamento del magnetron di qualche secondo (generalmente da 1 a 3 secondi); durante il monitoraggio, infatti, nei primi 2 secondi circa si registra un assorbimento minore rispetto alla potenza

nominale (circa 150 W, con uno spunto iniziale di oltre 500 W), mentre successivamente l'assorbimento aumenta in maniera rapidissima fino a raggiungere la potenza massima, comprensiva del funzionamento del magnetron e della relativa ventola di raffreddamento. Nei periodi di inattività del magnetron, invece, il consumo scende a soli 40 W (circa il 3%) in quanto la potenza assorbita serve esclusivamente ad alimentare l'illuminazione interna, il meccanismo di rotazione del piatto e la ventola di distribuzione, che sono carichi molto modesti. Si può quindi suddividere ogni ciclo in due parti: quella di accensione, comprensiva della fase di riscaldamento e di quella di generazione delle microonde, e quella di "pausa" durante la quale funzionano solo i componenti ausiliari.

Per dare un'idea della estrema precisione e ciclicità del funzionamento di un apparecchio del genere, dal monitoraggio si è ricavato che, per questo modello, la durata del ciclo è costantemente pari a 30 s, con una tolleranza di qualche decimo di secondo (irrilevante rispetto all'intero ciclo e comunque ininfluenza ai fini della cottura); inoltre, facendo più prove è emerso che tra l'avvio della ventola e l'avvio del magnetron intercorre sempre un periodo di 2,3 s, con variazioni dell'ordine del centesimo di secondo dovute principalmente allo strumento di misura. Le percentuali indicate in *Tabella 5.5* rappresentano quindi la durata di accensione rispetto alla durata del ciclo.

Nei grafici che seguono è illustrato nel dettaglio il comportamento dell'apparecchio, in modo da comprendere quale sia profilo di consumo attraverso l'andamento dei valori efficaci delle grandezze elettriche. Mentre i profili di corrente e potenza sappiamo benissimo che variano in base al funzionamento dell'apparecchio collegato, ci si aspetterebbe un valore di tensione efficace costante (a meno di picchi istantanei dovuti a disturbi o errori di lettura); tuttavia si può vedere come nel momento in cui si attiva l'emissione di microonde si abbia un calo di tensione piuttosto significativo, dell'ordine di quasi 5 V, causato dal massiccio assorbimento elettrico del magnetron (ben distinguibile in *Figura 5.19*).

La scala di rappresentazione è sufficientemente grande per apprezzare la ripetitività del funzionamento e di verificare la durata di un ciclo (il tratto iniziale del rilevamento rappresenta lo scatto del timer e l'attacco della ventola). Nel grafico sono indicate le due fasi del periodo di accensione (A = riscaldamento, B = microonde) e la fase di "pausa" (C). Nel caso specifico è raffigurato il comportamento in modalità "Low", ossia quella a consumo minimo, e il periodo di accensione vale circa 6 s (il 20% di 30 s), molto vicino quindi al 18% dichiarato. Per rispettare esattamente i dati contenuti nel manuale tecnico l'accensione sarebbe dovuta essere di 5,4 s, tuttavia, poiché la durata reale del ciclo rappresentato è di 30,2 s si capisce che le indicazioni non devono essere interpretate in maniera rigorosa.

Ad ogni modo, per ogni modalità è stata fatta la verifica dei tempi per capire quanto il comportamento reale si discosti da quello dichiarato. Mentre per il funzionamento del solo microonde i tempi sono prossimi a quelli dichiarati, per il funzionamento combinato microonde-grill non è così, quindi si è cercato di capire quale sia il significato delle percentuali contenute nel manuale tecnico.

Per il primo esempio sono rappresentati tutti e tre i parametri elettrici efficaci (*Figura 5.19* e *Figura 5.20*), per mostrare in che modo e in che misura si verificano determinati eventi (fasi del ciclo, calo di tensione, ecc.) comuni a tutte le modalità di funzionamento; nei casi successivi (da *Figura 5.21* a *Figura 5.28*) invece si riporterà esclusivamente l'andamento di potenza e corrente in valore efficace e di tensione e corrente in valore istantaneo.

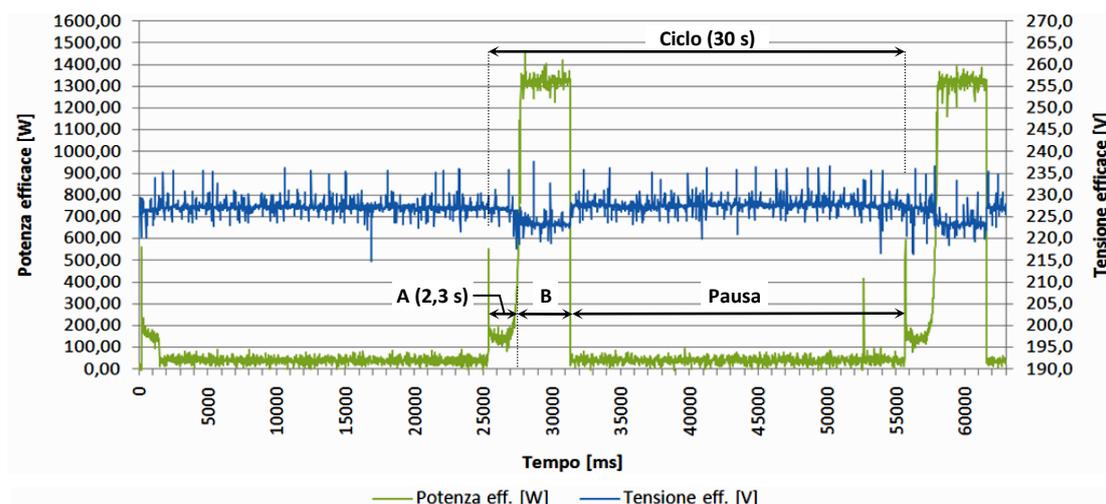


Figura 5.19 – Microonde: andamento di potenza media e tensione efficace nella modalità “Low”.

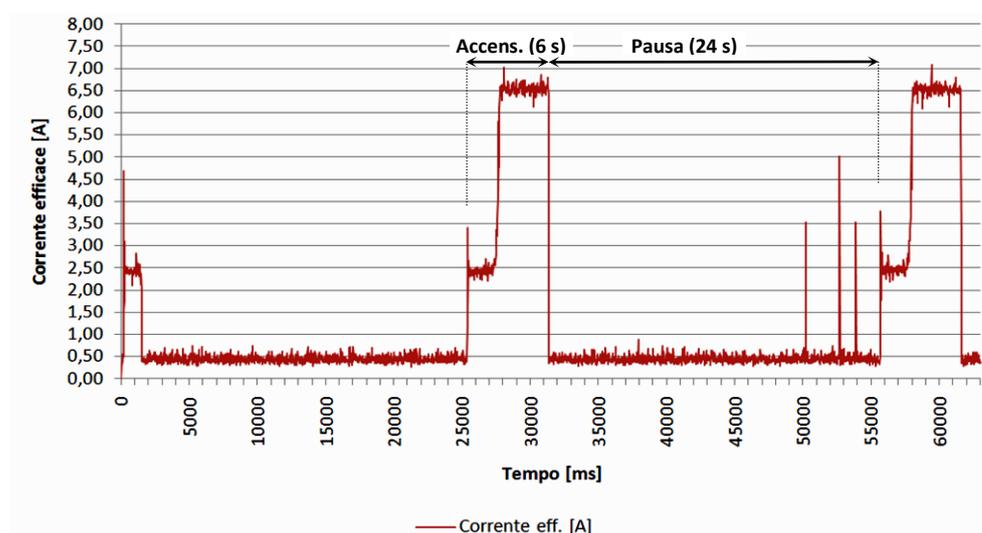


Figura 5.20 – Microonde: andamento della corrente efficace nella modalità “Low”.

Con i dati misurati impostando il funzionamento del solo microonde a stadi differenti, facendo il rapporto tra il tempo di accensione e la durata del ciclo si può subito verificare la corrispondenza con le informazioni fornite dal produttore:

- modalità “Low”: $6/30 = 20\%$ (+2% rispetto a quanto riportato nel manuale);
- modalità “MLow”: $11,6/30 = 39\%$ (+3% rispetto a quanto riportato nel manuale);
- modalità “Med”: $17,7/30 = 59\%$ (+1% rispetto a quanto riportato nel manuale);
- modalità “MHigh”: $24,1/30 = 80\%$ (-1% rispetto a quanto riportato nel manuale);
- modalità “High”: 100% (uguale a quanto riportato nel manuale).

In generale, quindi, ad eccezione delle due modalità a consumo minore che si discostano maggiormente, i dati dichiarati sono stati suffragati dalle misure effettuate.

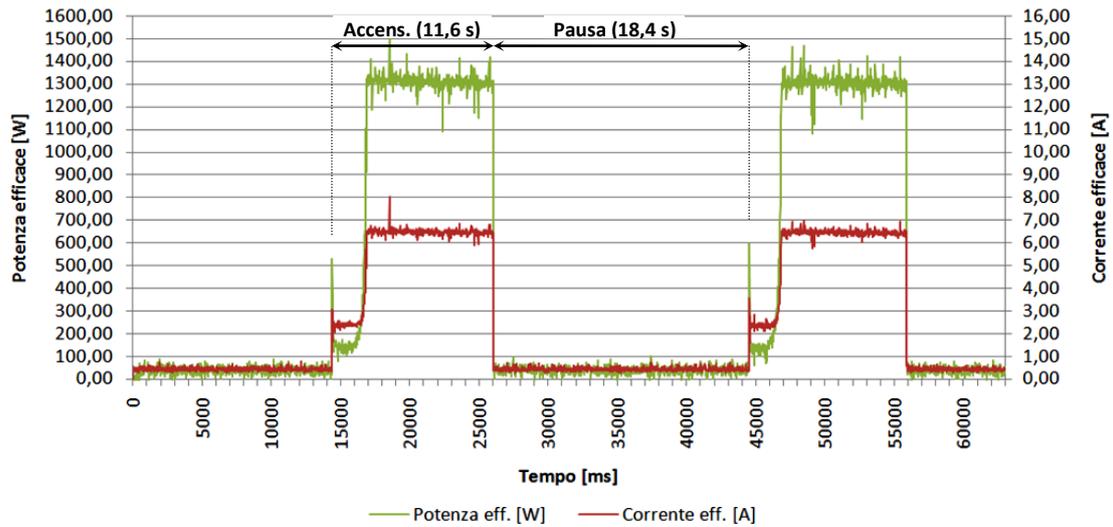


Figura 5.21 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “MLow”.

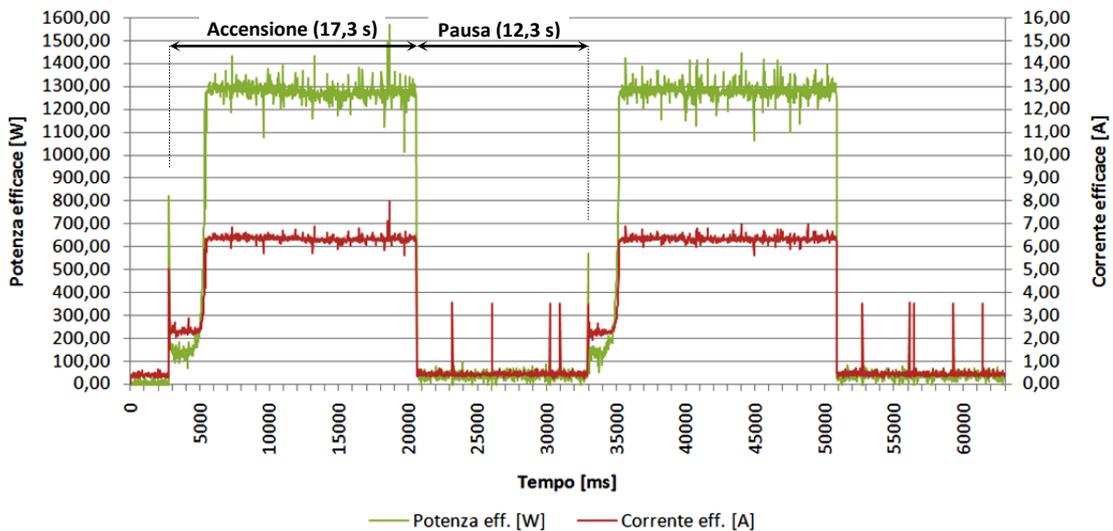


Figura 5.22 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Med”.

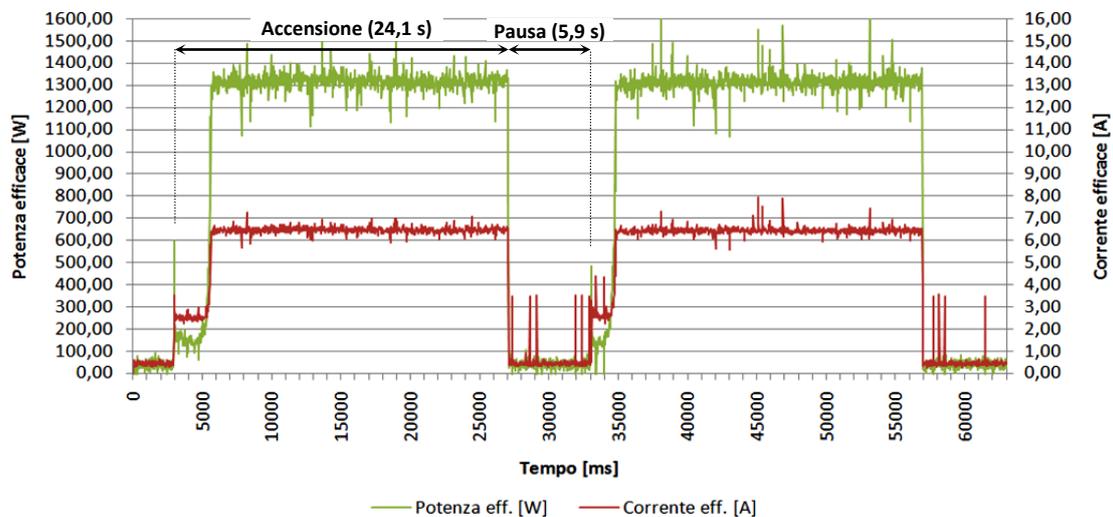


Figura 5.23 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “MHigh”.

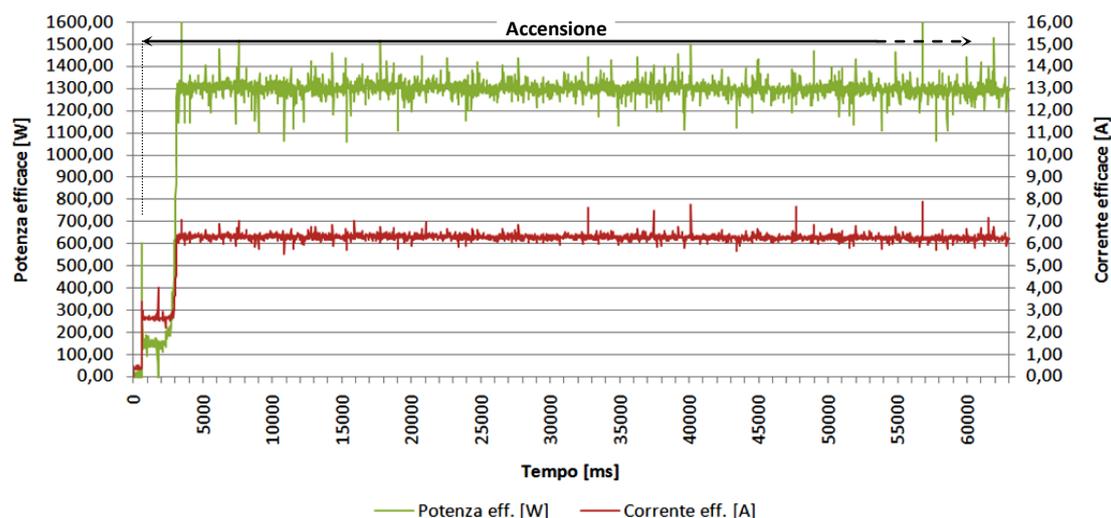


Figura 5.24 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “High”.

Con il funzionamento combinato (da Figura 5.25 a Figura 5.28), invece, i risultati del monitoraggio sono stati molto differenti da quelli attesi. Il rapporto tra i tempi, in questo caso, a parte usando solo il grill è sempre radicalmente discordante (“Combi1” = 22% microonde + 78% grill, “Combi2” = 29% microonde + 71% grill, “Combi3” = 43% microonde + 57% grill). A fronte di ciò è stata fatta una ulteriore verifica confrontando separatamente l’energia consumata in ognuna delle due modalità e rapportandola poi al totale, ma le incongruenze rilevate sono state le medesime. Poiché tutti i campionamenti effettuati hanno dato sempre lo stesso esito e prendendo per corrette le informazioni contenute nel manuale, è possibile che i dati forniti siano stati ricavati basandosi su criteri diversi da quelli analizzati in questa sede.

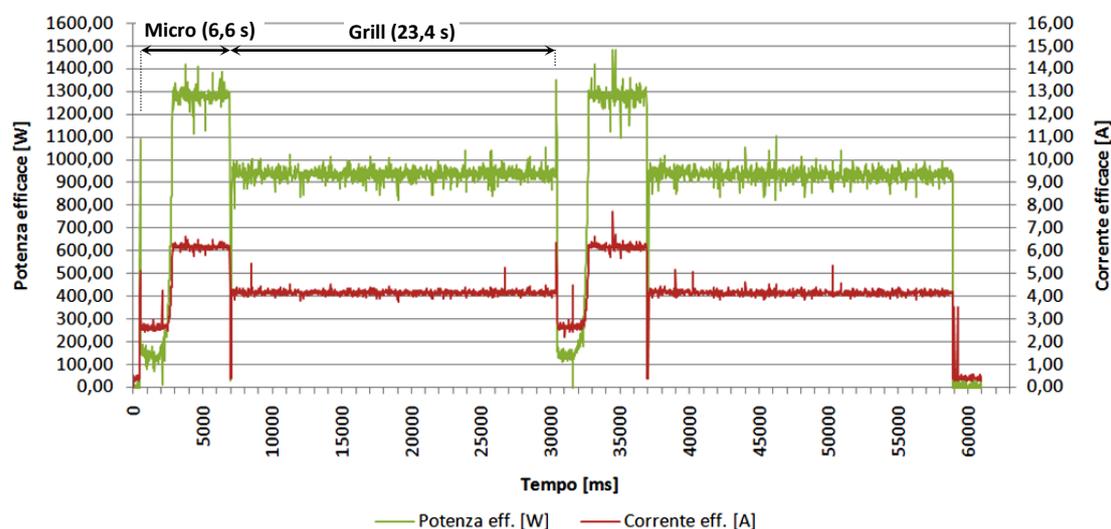


Figura 5.25 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi1”.

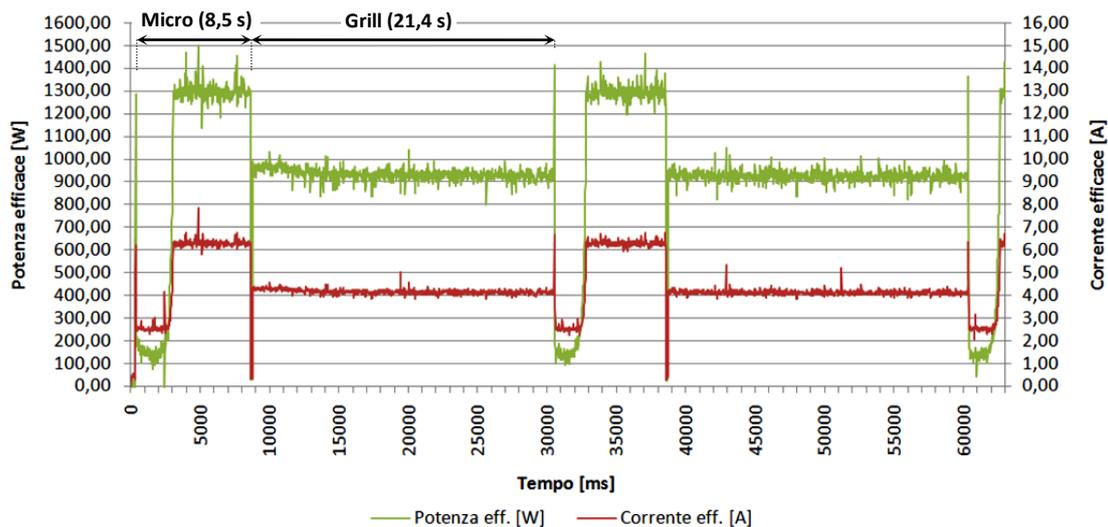


Figura 5.26 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi2”.

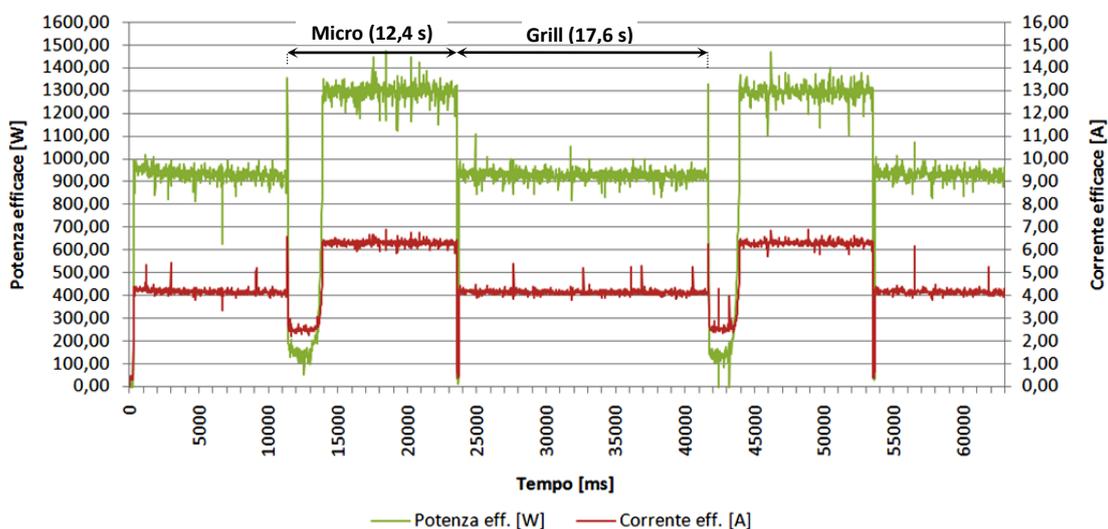


Figura 5.27 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi3”.

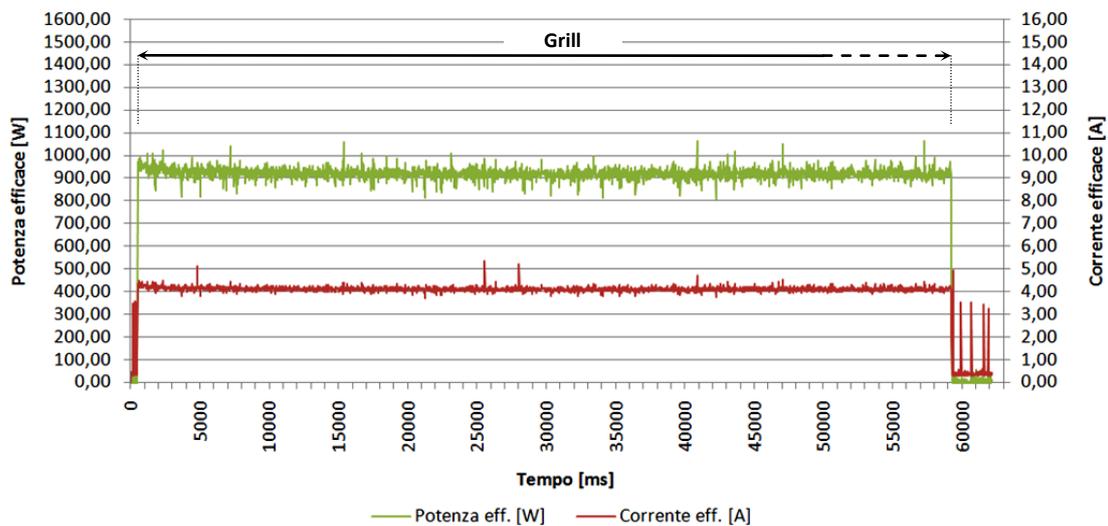


Figura 5.28 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Grill”.

Ora che è stato chiarito il principio generale di funzionamento, si può procedere vedendo in scala minore cosa succede al flusso di corrente. In *Figura 5.30* e in *Figura 5.29* è rappresentata una parte del funzionamento in modalità "Combi1", comprendente la parte di passaggio da grill a microonde e il successivo passaggio nuovamente a grill; per percepire al meglio la corrispondenza tra valori istantanei ed efficaci le due immagini raffigurano lo stesso arco di tempo. Come si può vedere, al termine del funzionamento della resistenza del grill parte immediatamente il riscaldamento del magnetron, con lo spunto iniziale visto per il funzionamento del solo microonde

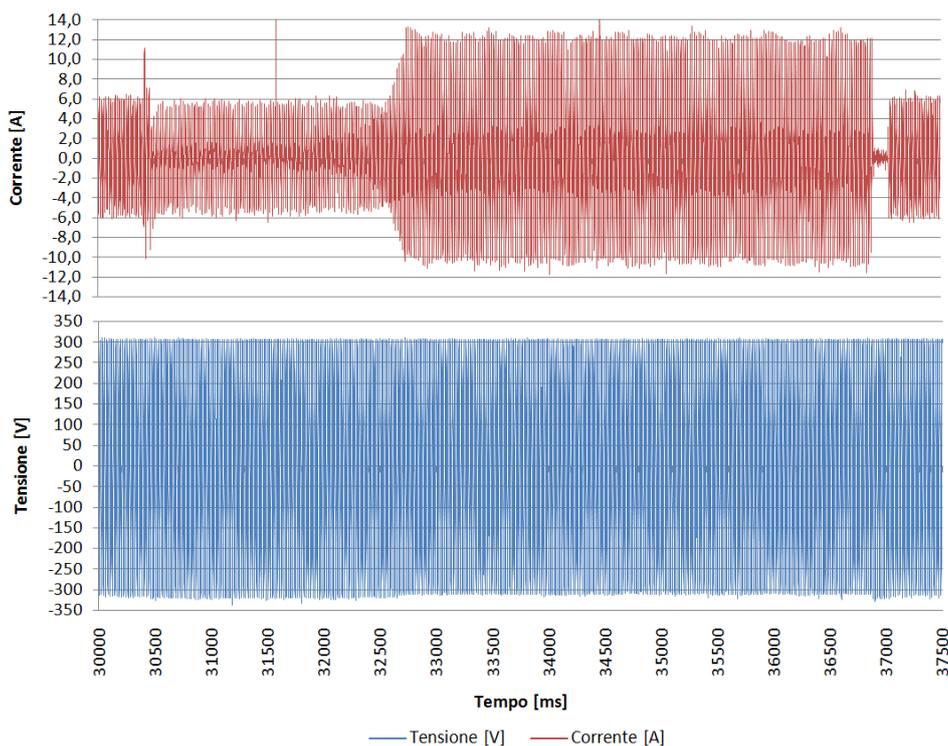


Figura 5.29 – Microonde: andamento di corrente e tensione istantanei in modalità "Combi1".

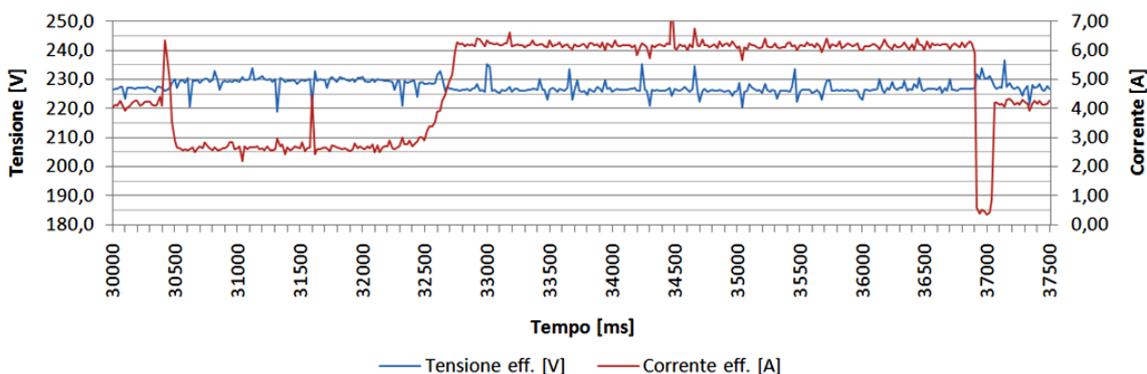


Figura 5.30 – Microonde: andamento di corrente e tensione efficaci in modalità "Combi1".

Nelle immagini successive (*Figura 5.31* e *Figura 5.34* *Figura 5.33*) è visualizzato in maniera ingrandita l'andamento di tensione e corrente in alcuni tratti significativi.

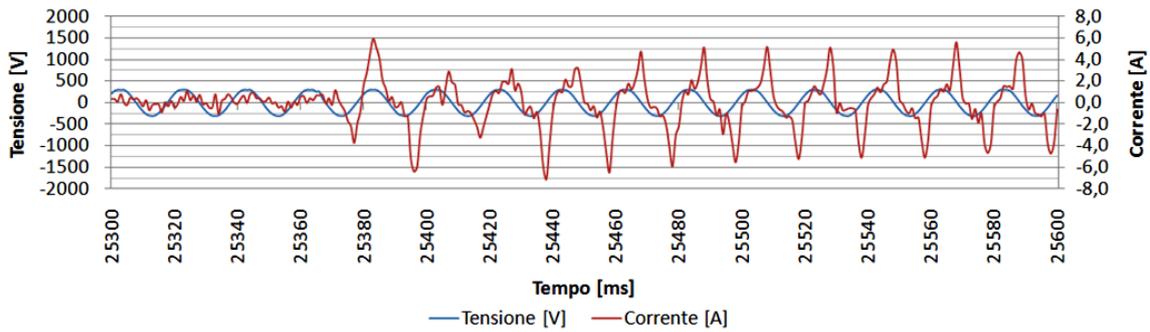


Figura 5.31 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee all'avvio della ventola del magnetron.

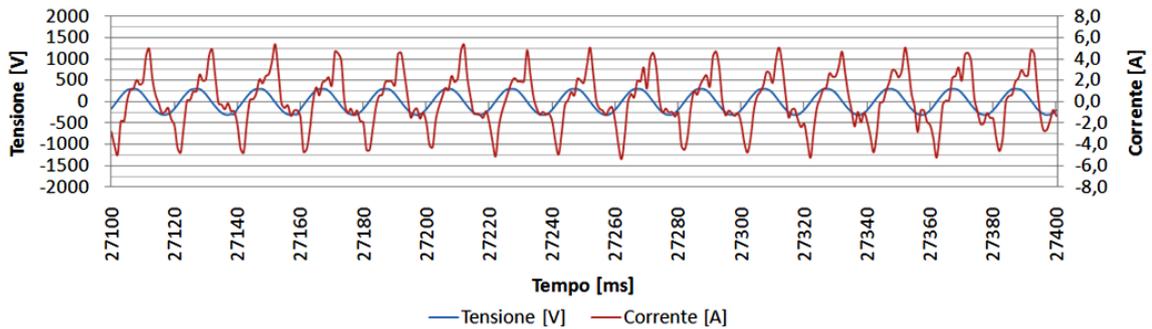


Figura 5.32 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee della ventola a regime.

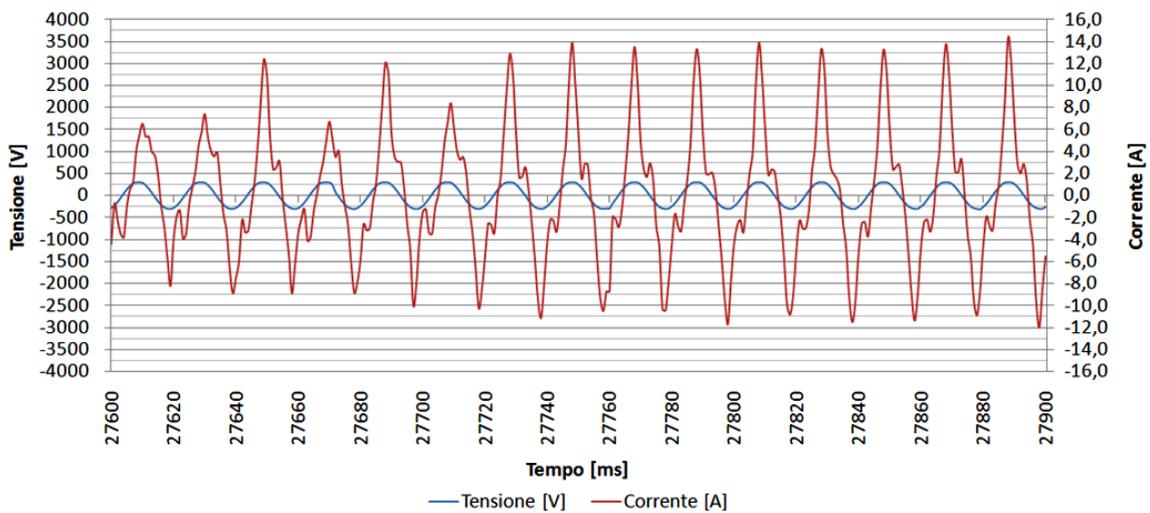


Figura 5.33 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee all'avvio e a regime del magnetron.

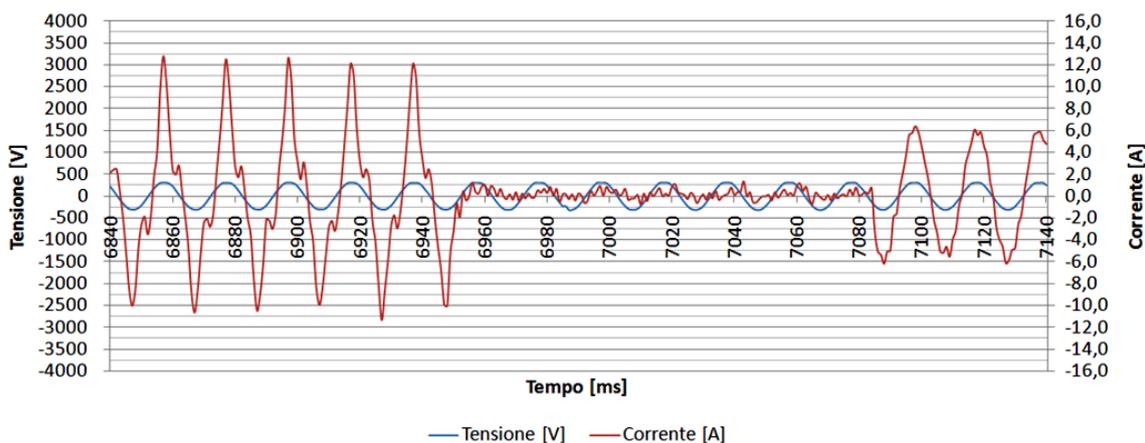


Figura 5.34 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee tra l’arresto del magnetron e l’avvio del grill.

In particolare, dal grafico in *Figura 5.34* si può poi notare la diversa forma d’onda della corrente elettrica tra la fase di microonde e quella di grill. Essendo quest’ultimo una semplice resistenza che irradia calore in seguito al suo surriscaldamento, il profilo di corrente è riconducibile a una sinusoide con ampiezza costante e perfettamente in fase con la tensione. Il microonde, invece, presenta un piccolo ritardo della corrente, il che sta ad indicare che il circuito è di tipo resistivo-induttivo, ed è anche evidente un certo contenuto armonico nella corrente associato al circuito di alimentazione del magnetron.

Vediamo infine di fare qualche conto per capire effettivamente quanta energia finale il forno consuma per ogni ciclo. Per determinare l’energia assorbita in un certo periodo da un carico di potenza nota e costante si usa la seguente formula:

$$E [Wh] = P [W] \cdot \frac{t [s]}{3600} \quad [4]$$

dove:

- “E” è l’energia elettrica consumata;
- “P” è la potenza istantanea assorbita;
- “t” è il periodo in cui viene assorbita la potenza P.

L’energia complessiva assorbita dall’apparecchio può essere determinata con la formula [5] sommando i quattro contributi E_A (riscaldamento del magnetron, di durata fissa pari a 2,3 s), E_B (emissione di microonde), E_{pausa} (solo ausiliari) ed E_{grill} (grill):

$$E_{tot} = E_A + E_B + E_{pausa} = 150 W \cdot \frac{t_A}{3600} + 1300 W \cdot \frac{t_B}{3600} + 40 W \cdot \frac{t_{pausa}}{3600} + 1000 W \cdot \frac{t_{grill}}{3600} \quad [5]$$

In *Tabella 5.6* sono dunque riassunti, per ogni modalità di funzionamento, i parametri più importanti dell’assorbimento elettrico del forno e il consumo energetico calcolato sulla base dei dati misurati.

FUNZIONE	CORRENTE MAX [A]	POTENZA MAX [W]	TEMPO ACCENSIONE [s]		TEMPO PAUSA* [s]	TEMPO GRILL [s]	CONSUMO AL CICLO [Wh]
			RISCALD.	MICRO			
Low	6,5	1320	2,3	3,7	24	0,0	1,7
Mid Low	6,5	1310	2,3	9,3	18,4	0,0	3,7
Medium	6,5	1290	2,3	15,4	12,3	0,0	5,8
Mid High	6,5	1320	2,3	21,7	6,0	0,0	8,0
High*	6,5	1300	2,3	27,7	0,0	0,0	10,1
Combi 1	6,5	1280	2,3	4,2	0,1	23,4	8,1
Combi 2	6,5	1290	2,3	6,1	0,1	21,5	8,3
Combi 3	6,5	1300	2,3	10,0	0,1	17,6	8,6
Grill	4,1	940	0,0	0,0	0,0	30	8,3

* Illuminazione interna, ventola di distribuzione e movimentazione piatto girevole, sempre in funzione anche nelle altre fasi.
** Il riscaldamento avviene una sola volta all'avvio della cottura, poi funziona ininterrottamente il microonde.

Tabella 5.6 – Tabella riassuntiva del consumo del forno a microonde nelle varie modalità.

5.5 Forno elettrico

Il forno elettrico è una delle maggiori fonti di assorbimento di potenza elettrica in un ambiente domestico. Esso infatti ha la funzione di cuocere i cibi in esso collocati irradiando calore tramite una resistenza resa incandescente dal passaggio di una corrente elettrica. Il consumo elettrico di tale apparecchio è quindi rappresentato quasi totalmente dalla parte di riscaldamento, mentre le funzioni accessorie quali l'illuminazione interna e la ventola di distribuzione (quest'ultima non è presente in tutti i modelli, ma quello di cui parliamo ora ne è provvisto) hanno un'incidenza relativamente piccola.

Il funzionamento di un forno elettrico si può definire in un certo senso ciclico, in quanto nonostante sia una resistenza percorsa da corrente costante per tutto il periodo in cui rimane acceso, esso può scandire i momenti in cui viene alimentato da quelli in cui il circuito viene aperto. In funzione della temperatura interna rilevata da un termostato, infatti, al raggiungimento del valore impostato manualmente esso scollega l'apparecchio dalla corrente fino a che non sia necessario un ulteriore riscaldamento per ripristinare le condizioni desiderate. Per questo motivo, per ogni regolazione di temperatura disponibile variano di conseguenza i ritmi di accensione e spegnimento, che si ripercuotono inevitabilmente sul consumo globale.

Veniamo ora all'analisi specifica portata avanti in questa trattazione. Il forno monitorato è un modello molto recente con prestazioni di buon livello e consumi contenuti grazie ad un ottimo isolamento termico che evita la dispersione del calore. Dispone di due resistenze per la cottura normale, una posta inferiormente e una nella parte superiore, oltre ad una resistenza riservata alla funzione di grill (che cuoce emettendo infrarossi a distanza ravvicinata); è presente poi anche un girarrosto a motore per cotture particolari. Come potremo vedere dal profilo di carico (*Figura 5.36*), le due resistenze normali hanno quasi lo stesso valore (quella superiore risulta leggermente più piccola), mentre quella dedicata al grill dissipa la medesima potenza delle due normali funzionanti insieme, coerentemente con quanto dichiarato nelle specifiche tecniche (*Tabella 5.7*).



Figura 5.35 – Immagine del modello di forno elettrico monitorato.

Marca e modello	Ariston FH51IX/HA
Alimentazione	220-240 V ~ 50/60 Hz
Potenza massima assorbita	2250 W
Potenza grill	2250 W
Classe energetica	A
Dimensioni (L x H x P)	435 x 320 x 415 mm
Capacità totale	58 l

Tabella 5.7 – Specifiche tecniche forno elettrico.

Dal punto di vista dell'utilizzo, questo forno consente cinque differenti modalità di cottura più un'ulteriore opzione per accendere esclusivamente l'illuminazione interna (per agevolare le operazioni di pulizia). Le opzioni di cottura sono le seguenti:

- forno tradizionale: si attivano entrambe le resistenze (una superiore e una inferiore) ma senza ventola;
- multicottura: alle due resistenze si aggiunge la ventola di distribuzione interna;
- forno sopra: si attiva solo la resistenza superiore senza ventola;
- grill: entra in funzione la resistenza del grill;
- gratin: alla funzionalità grill si aggiunge la ventola di distribuzione interna.

Illustriamo ora i risultati dell'indagine in merito ad un funzionamento di breve durata nelle varie modalità. In *Figura 5.36* è visualizzato in un unico grafico il funzionamento lineare in tutte le funzionalità, selezionando la temperatura massima e, a forno sempre acceso, ruotando solamente la manopola di selezione; ogni impostazione è stata poi mantenuta per circa 15-20 secondi al fine di avere una quantità di dati significativa. Per osservare l'andamento di potenza relativo ad un ipotetico ciclo reale si rimanda al paragrafo 6.1.

Oltre ad evidenziare il consumo di corrente delle varie resistenze installate, dal monitoraggio è emerso che il consumo della ventola è praticamente trascurabile, in quanto essa non deve creare una forte pressione d'aria ma è sufficiente che generi un lieve moto per uniformare la

temperatura interna. Questo è ben visibile dal fatto che non vi sia alcuna variazione di potenza media né tra i 15 s e i 45 s circa (passaggio dalla modalità “forno tradizionale” a quella “multicottura”) né tra i 61 s e i 100 s circa (passaggio dalla modalità “grill” a quella “gratin”).

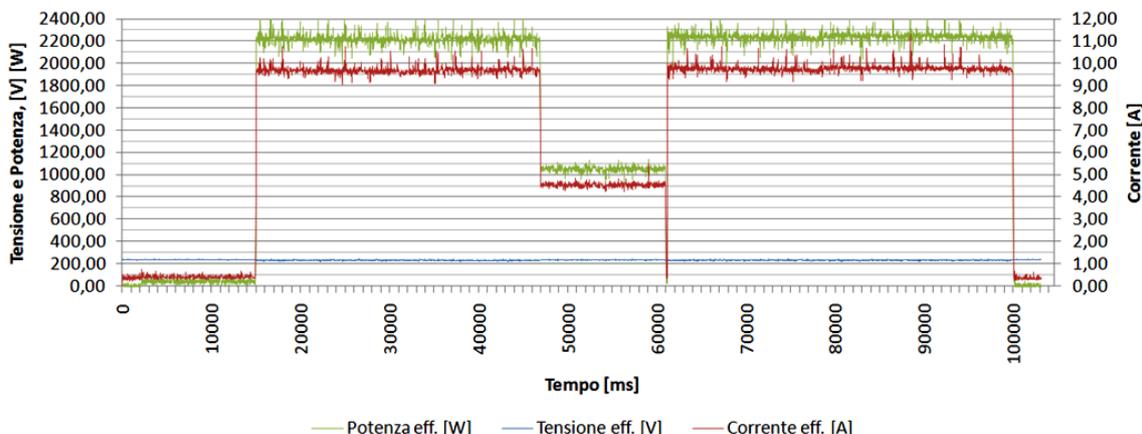


Figura 5.36 – Forno elettrico: tensione, corrente e potenza efficaci nelle 5 modalità di funzionamento.

Dopo aver fornito il quadro generale si approfondisce il discorso della forma d’onda, andando a zoomare alcuni tratti significativi. Come era intuibile, essendo delle resistenze pure (a meno del contributo assolutamente trascurabile della ventola a motore, come si vedrà anche più avanti nella parte dedicata al phon) la corrente segue un andamento perfettamente sinusoidale e in fase con la tensione, mantenendo un’ampiezza costante in quanto non esistono spunti iniziali. Il tratto relativo alla sola illuminazione non è stato considerato in quanto caratterizzato da un consumo praticamente irrilevante.

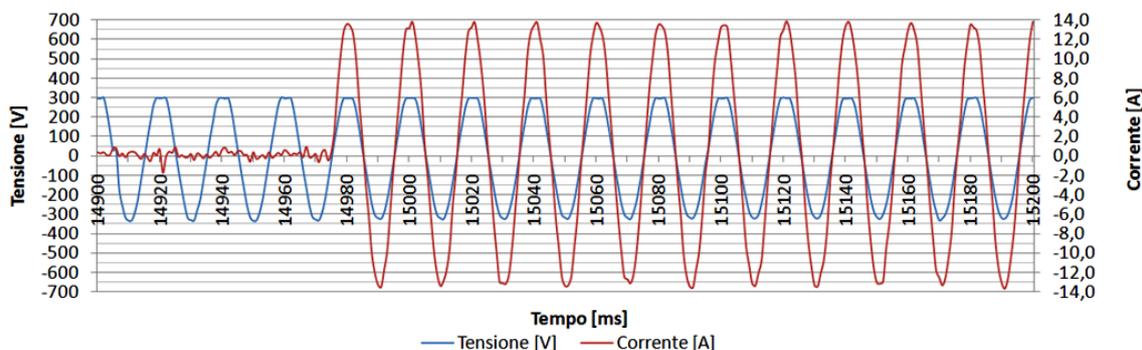


Figura 5.37 – Forno elettrico: tensione e corrente istantanee all’avvio della modalità “forno tradizionale” (andamento uguale alla modalità “multicottura”).

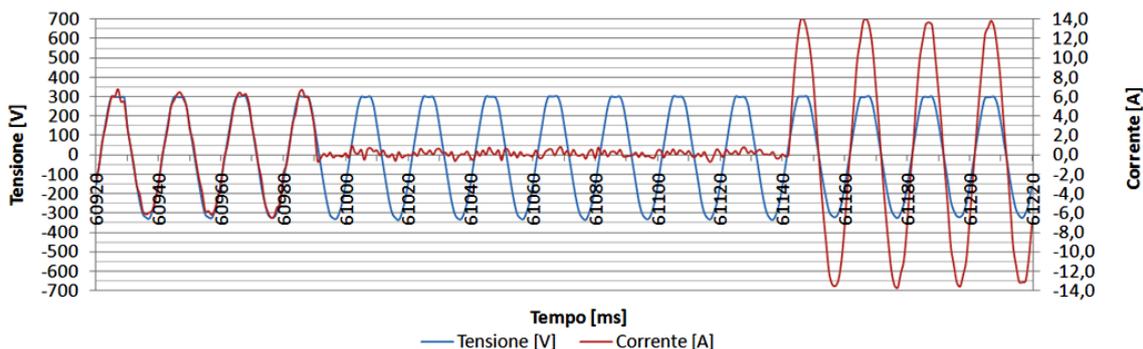


Figura 5.38 – Forno elettrico: tensione, corrente e potenza istantanea durante il passaggio dalla modalità “forno sopra” alla modalità “grill” (l’andamento di quest’ultima è uguale a quello in modalità “gratin”).

In conclusione, nella tabella seguente si riportano i dati di assorbimento elettrico, in modo da verificare i parametri massimi definiti dal produttore.

Modalità	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]
Solo luce interna	0,4	0,4	50,3	41
Forno tradizionale	9,8	9,7	2250	2219
Multicottura	9,8	9,7	2250	2219
Forno sopra	4,7	4,5	1073,6	1049
Grill	10,1	9,8	2306,1	2239
Gratin	10,1	9,8	2306,1	2239

Tabella 5.8 – Tabella riassuntiva del consumo del forno elettrico nelle varie modalità.

5.6 Piano ad induzione

Il piano ad induzione è sicuramente uno degli elettrodomestici più innovativi in ambito domestico, ponendosi come l’unico concorrente alla tradizionale cucina a gas presente in molte delle nostre case. Con questo elettrodomestico si va a rivoluzionare radicalmente la cottura dei cibi, sia per le modalità d’uso sia in relazione all’approvvigionamento di energia per ottenere il calore necessario.

L’aspetto caratteristico di un piano ad induzione, che lo differenzia in maniera sostanziale rispetto ad un piano tradizionale, è indubbiamente quello legato alla produzione di calore: questo infatti non è ceduto per conduzione dalla fiamma alla pentola, ma è generato per induzione direttamente nella pentola sfruttando il campo elettromagnetico generato.

Un piano cottura di questo tipo è costituito sostanzialmente da un piano di appoggio in vetroceramica, solitamente incassato a filo del piano di lavoro, al di sotto del quale si trovano delle bobine in rame (Figura 5.39).

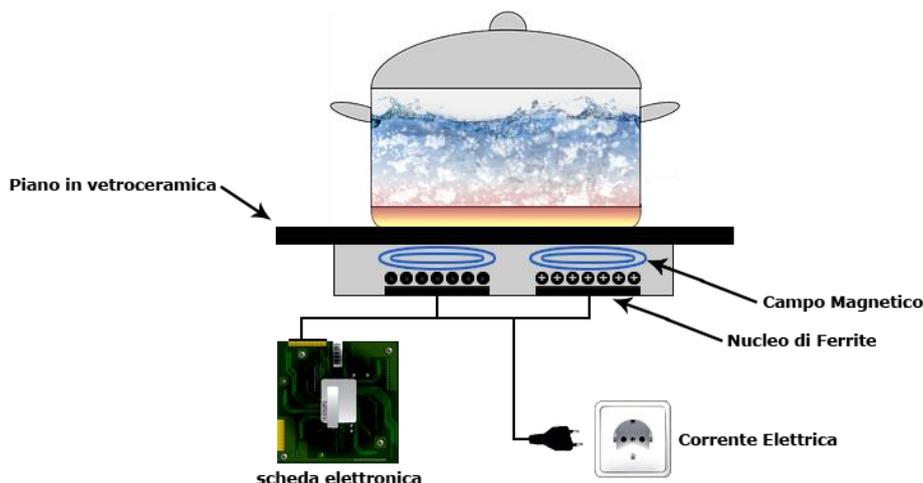


Figura 5.39 – Schema di funzionamento di un piano ad induzione.

Il principio di funzionamento è relativamente semplice da capire. Ogni piastra (sono più di una, come i fuochi delle cucine a gas) della cucina ad induzione è rappresentata da una bobina induttiva attraverso la quale scorre una corrente alternata. Quando una pentola viene appoggiata sul piano in vetroceramica (e solo in questo caso), questa corrente variabile genera un campo magnetico, anch'esso variabile e con la stessa frequenza, che attraversa senza ostacoli il piano di cottura e penetra nella pentola.³⁸ Il campo magnetico, a sua volta, crea nel fondo della pentola una corrente parassita³⁹, dovuta al fenomeno dell'induzione elettromagnetica. Questo tipo di corrente dissipa una grande quantità di calore, ma per potersi verificare questo fenomeno è indispensabile che le pentole abbiano un fondo in materiale magnetico (quindi ferroso e particolarmente permeabile. Inoltre, il campo alternato venutosi a generare si spinge sulla superficie esterna del fondo della pentola ("effetto pelle") aumentando la resistenza elettrica e producendo di conseguenza un maggiore riscaldamento.

Questa tecnologia offre un'ampia gamma di vantaggi, il maggiore dei quali è senza dubbio quello relativo alla sicurezza d'uso in quanto gli utenti non sono esposti al pericolo delle fiamme (a cui si aggiunge l'assenza di rischio di fughe di gas con tutte le relative conseguenze e, in caso di ambienti di lavoro, la non necessità di alcuni accorgimenti in materia di sicurezza). Inoltre, poiché vi è passaggio di corrente esclusivamente quando la pentola è poggiata e poiché il riscaldamento è limitato alla sola zona di contatto, si evita il rischio di scottature accidentali per contatto con il piano. Dal punto di vista dell'utilizzo, la convenienza sta nei tempi decisamente più ridotti⁴⁰ e nella cottura più omogenea rispetto ai fornelli tradizionali, poiché l'uniformità di riscaldamento del fondo pentola e l'elevato indice di rendimento (anche oltre il 90%, dimostrandosi ad oggi il sistema di cottura più efficiente) consentono uno sfruttamento ottimale della potenza assorbita. Infine, non vanno trascurati anche aspetti

³⁸ La pentola, tuttavia, deve essere necessariamente di un metallo ferromagnetico in quanto deve essere sensibile ai campi magnetici generati; per questo motivo non vanno bene quelle in rame, in acciaio inox, in alluminio (ad esempio la moka) e quelle non metalliche (coccio, vetro, ceramica).

³⁹ Le correnti parassite sono causate dal movimento (o variazione) del campo magnetico che attraversa un conduttore. Il moto relativo genera la circolazione di elettroni, cioè corrente, nel conduttore. Questi elettroni, muovendosi vorticosamente, generano a loro volta un campo magnetico in direzione opposta al campo magnetico applicato (secondo la legge di Lenz). Il fenomeno si accentua con l'aumentare del campo magnetico applicato (e quindi della corrente), con l'aumentare della conducibilità del conduttore attraversato dal campo magnetico e, se il campo magnetico è variabile in modo periodico, con l'aumentare della sua frequenza. (Fonte: Wikipedia)

⁴⁰ Per fare degli esempi, sono sufficienti circa 90 secondi per portare ad ebollizione 1 litro d'acqua contro i 5 minuti dei tradizionali piani a gas e i 7 minuti dei piani elettrici in vetroceramica.

collaterali meno immediati: a differenza di una cucina classica, in cui eventuali fuoriuscite di cibo dalle pentole vanno ad arrostiti su superfici roventi, con il piano ad induzione questo non accade, perché come abbiamo visto il piano non si scalda; la pulizia quindi si può effettuare con un semplice panno inumidito. Inoltre, per lo stesso motivo, l'aria non si vizia di fumi e gas (metano e soprattutto monossido) e non si scalda eccessivamente perché il calore disperso è solo quello proveniente dai cibi e non dal piano, rendendo l'ambiente più salubre e confortevole.

Insomma, i motivi per scegliere un piano ad induzione sono più di uno, e anche se dagli opuscoli si leggono potenze di picco molto elevate (in media intorno a 7 kW), che potrebbero facilmente far pensare a chissà quali consumi elettrici, bisogna ricordare innanzitutto che i singoli "fuochi" sono regolabili e sarà poco frequente raggiungere la potenza massima totale; inoltre, i nuovi modelli presenti sul mercato consentono di impostare una potenza limite in funzione della taglia del proprio contatore, evitando quindi sovraccarichi dovuti alla sola piastra.

Passando all'oggetto del campionamento, si tratta di un piano ad induzione a 5 piani cottura (Figura 5.40) con portata complessiva di poco inferiore a 7,3 kW. Le caratteristiche principali sono riassunte in Tabella 5.9, mentre gli stadi di potenza sono definiti in Tabella 5.10.

Per questo apparecchio sono stati fatti due analisi: nella prima si è osservato l'assorbimento di una sola piastra alla massima potenza e a stadi intermedi, mentre nella seconda si è seguito un normale procedimento di cottura, ovvero utilizzando i vari piani in maniera combinata e alla potenza più appropriata.

Marca e modello	Neff T43T80N1
Alimentazione	220-240 V ~ 50/60 Hz
Potenza massima assorbita	7290 W
Dimensione 1° elemento riscaldante	180 mm
Potenza 1° elemento riscaldante	1800 W
Dimensione 2° elemento riscaldante	180/280 mm
Potenza 2° elemento riscaldante	2100/2300 W
Dimensione 3° elemento riscaldante	140 mm
Potenza 3° elemento riscaldante	90 W
Dimensione 4° elemento riscaldante	145 mm
Potenza 4° elemento riscaldante	1400 W
Dimensione 5° elemento riscaldante	210 mm
Potenza 5° elemento riscaldante	2800 W
Dimensioni (L x H x P)	792 x 56 x 512 mm

Tabella 5.9 – Specifiche tecniche piano ad induzione.

Livello 1	Livello 1.	Livello 2	Livello 2.	Livello 3	Livello 3.
3,5%	5%	6,5%	8%	9,5%	12,5%
Livello 4	Livello 4.	Livello 5	Livello 5.	Livello 6	Livello 6.
15,5%	18%	20,5%	22,5%	25%	36%
Livello 7	Livello 7.	Livello 8	Livello 8.	Livello 9	
51%	60%	72%	86%	100%	

Tabella 5.10 – Percentuale di potenza indicative dei vari livelli di utilizzo.

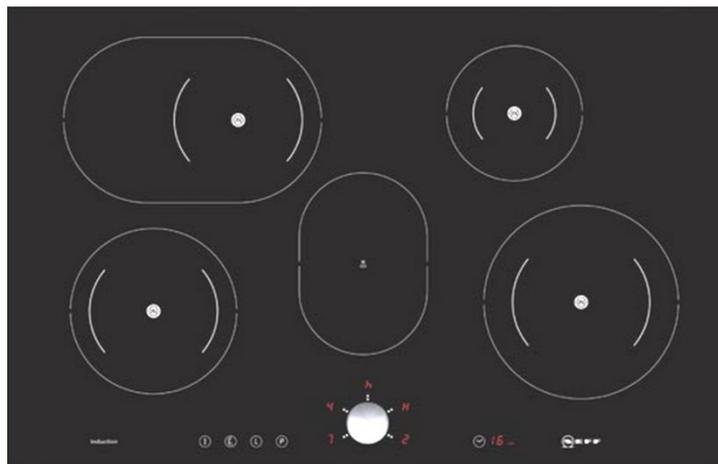


Figura 5.40 – Immagine del modello di piano ad induzione monitorato.

Nei grafici riportati da *Figura 5.41* a *Figura 5.43* è possibile vedere la potenza e la corrente assorbite a vari livelli di funzionamento di una singola piastra, tra cui anche il livello massimo che però raramente viene utilizzato. Il monitoraggio è stato effettuato con le seguenti regolazioni di potenza: livello “9” (2800 W), livello “8” (1950 W), livello “7.” (1600 W), livello “7” (1450 W), livello “6” (730 W) e livello “4.” (500 W). Come si può vedere, per potenze superiori a 730 W l’assorbimento è costante (a parte un tratto, tra circa 60 e 70 s, dovuto ad un riposizionamento della pentola con una conseguente minore superficie di contatto), mentre per potenze medie inferiori si ha un profilo a gradini di durata variabile e che assume solamente due valori: 0 W o 730 W. L’osservazione che si può quindi fare è che per potenze superiori a 730 W la regolazione del calore prodotto avviene modulando la corrente assorbita, mentre per potenze inferiori si ha un controllo a treni d’onda, come accade per altri elettrodomestici.

Per quanto riguarda la forma d’onda della corrente, essa è perfettamente sinusoidale e, trattandosi sostanzialmente di una resistenza percorsa da corrente, è anche in fase con la tensione; a titolo di esempio riportiamo solo l’andamento alla potenza massima (*Figura 5.45*).

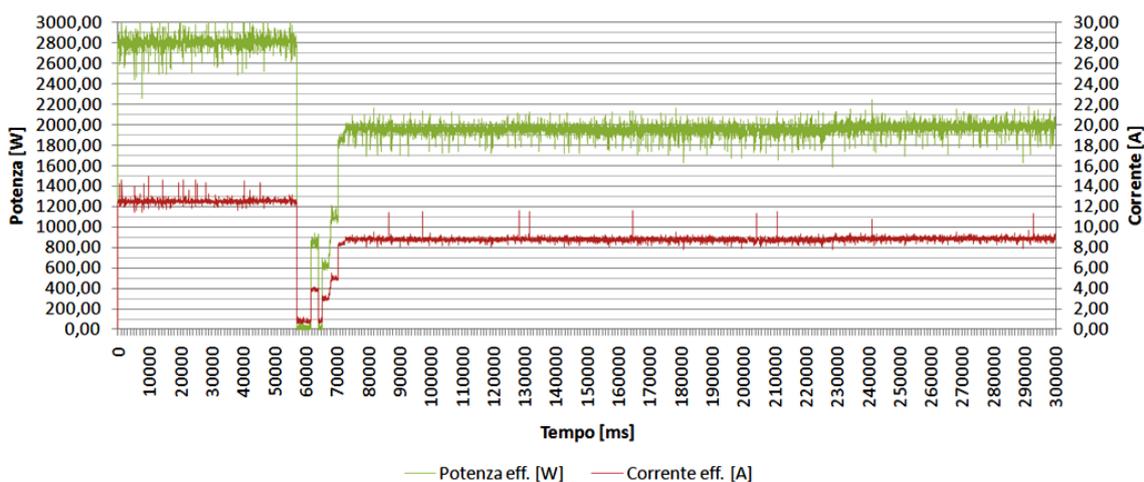


Figura 5.41 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “9” (massima potenza) e “8”.

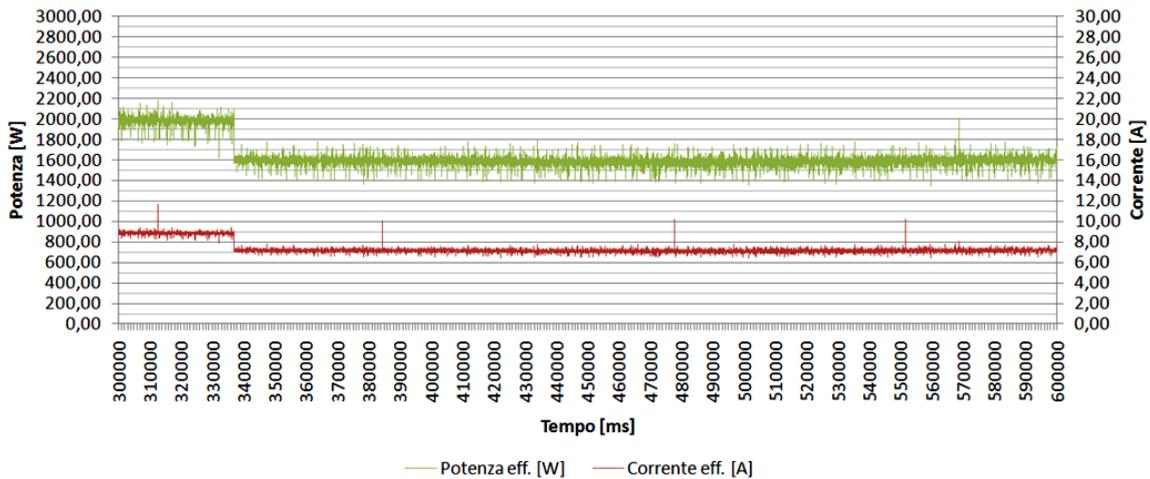


Figura 5.42 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “8” e “7.”.

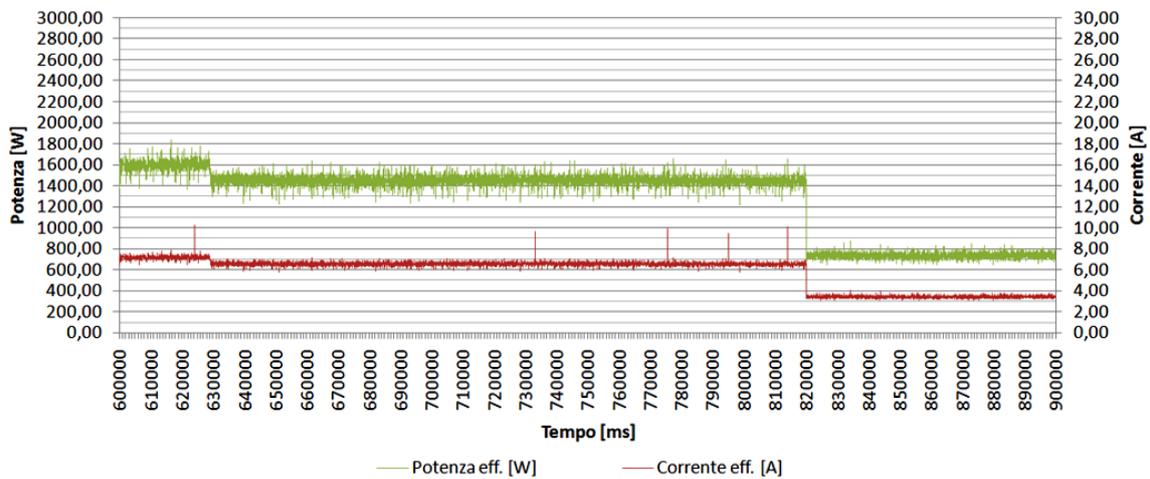


Figura 5.43 – Piano ad induzione: andamento di potenza e corrente efficaci al livello “7.”, “7” e “6”.

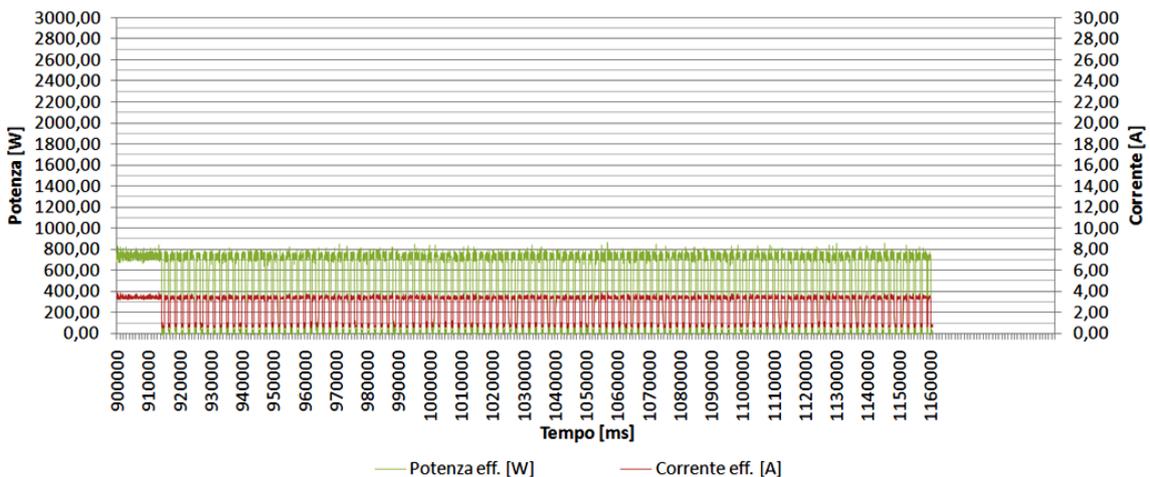


Figura 5.44 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “6” e “4.”.

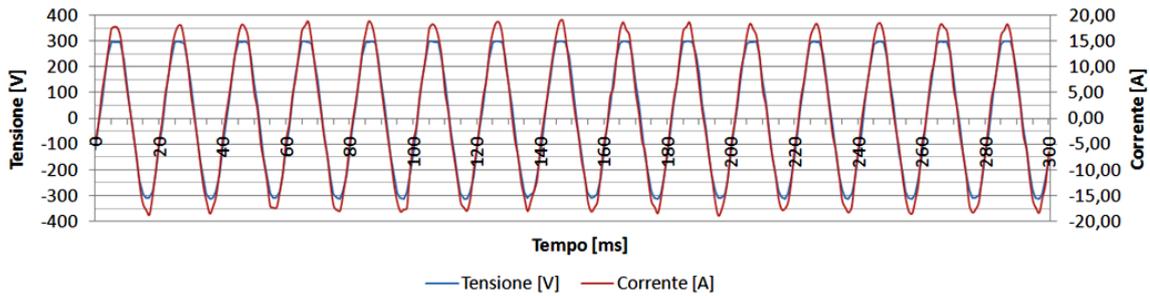


Figura 5.45 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee al livello 9.

Per quanto riguarda la simulazione di una cottura comune, si è monitorato il funzionamento del piano al fine di scaldare l'acqua per preparare un primo e un secondo (delle bistecche di pollo) per quattro persone, cioè una combinazione abbastanza frequente e quindi sufficientemente indicativa. Per la prima portata sono stati sufficienti circa 11 minuti, tra cui circa quattro per portare l'acqua ad ebollizione (circa due litri e mezzo) e altri sette per la cottura; in questa fase, il piano cottura n°1 è stato utilizzato al livello "8", assorbendo 1280 W. Per il secondo, messo subito dopo sul piano cottura n°5, sono stati sufficienti circa 8 minuti per cuocere la carne a fuoco moderato (livello "5.", cioè 600 W circa), oltre ad un periodo successivo per mantenerle in caldo (livello "3.", cioè 360 W circa).

Dalla Figura 5.46 alla Figura 5.50 sono riportate le fasi di preparazione sopra citate, che hanno richiesto un tempo complessivo di circa 25 minuti, tempo che verrà quindi preso come riferimento per le analisi condotte nei capitoli successivi.

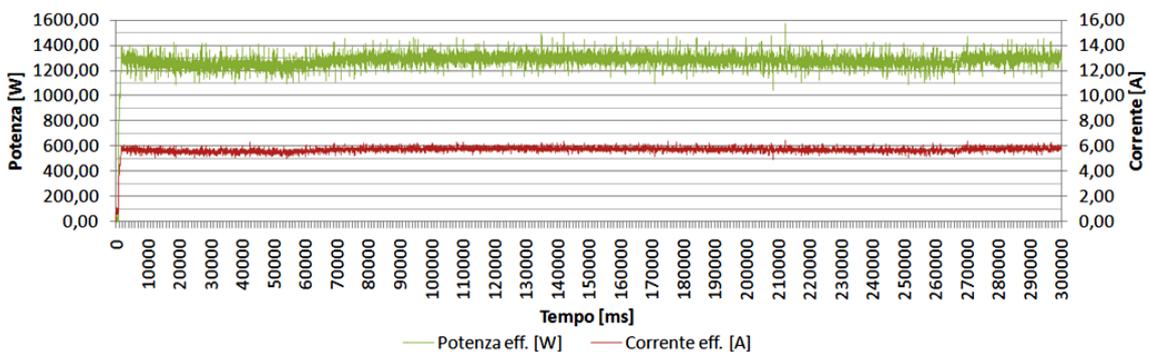


Figura 5.46 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace nei primi 5 minuti.

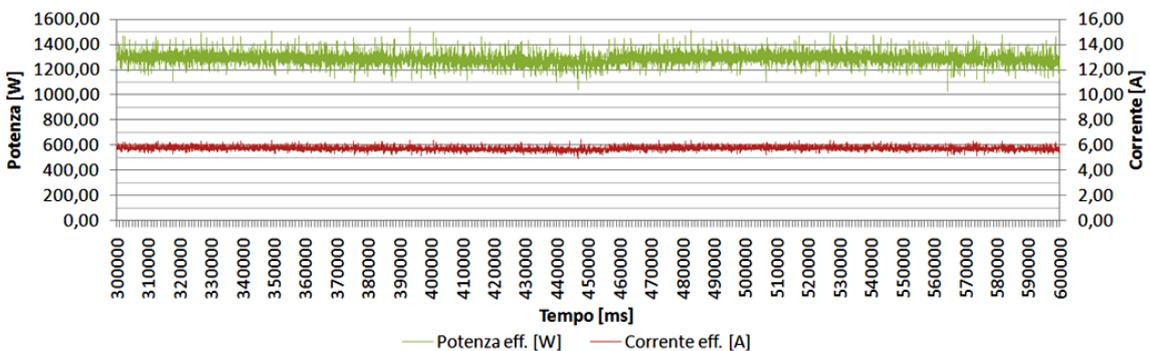


Figura 5.47 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 5 a 10 minuti.

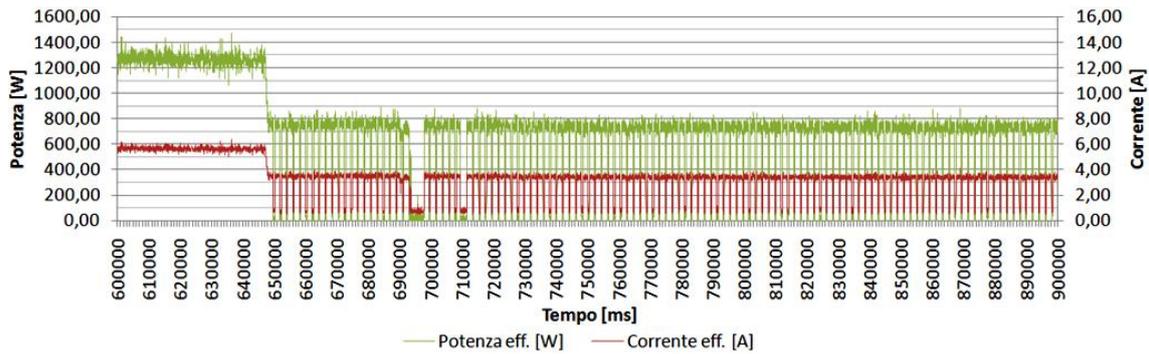


Figura 5.48 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 10 a 15 minuti.

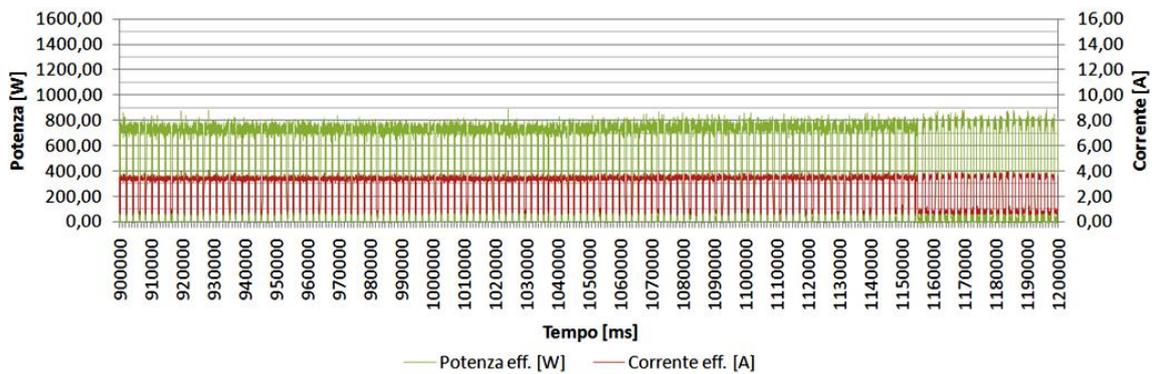


Figura 5.49 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 15 a 20 minuti.

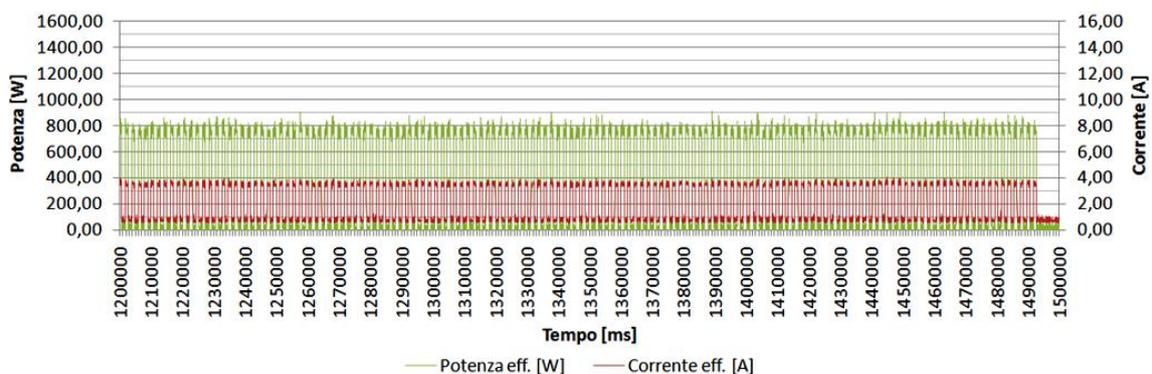


Figura 5.50 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 20 a 25 minuti.

Al termine dei grafici relativi al ciclo di cottura è possibile visionare alcuni ingrandimenti per capire meglio il profilo di assorbimento. Mentre la cottura del primo piatto è stata effettuata con il piano a potenza costante, il livello di potenza usato per la cottura del secondo è al di sotto della soglia dei 730 W, quindi assume il profilo a gradoni già citato (Figura 5.51). Terminata la preparazione della carne, prima di toglierla dal piano è stata lasciata per circa 5 minuti a riscaldare regolando l'assorbimento ad un valore molto basso e andando a variare la periodicità del tempo di controllo. In Figura 5.52 viene riportata proprio la fase di mantenimento in caldo, in cui la potenza media assorbita è minore rispetto alla cottura.

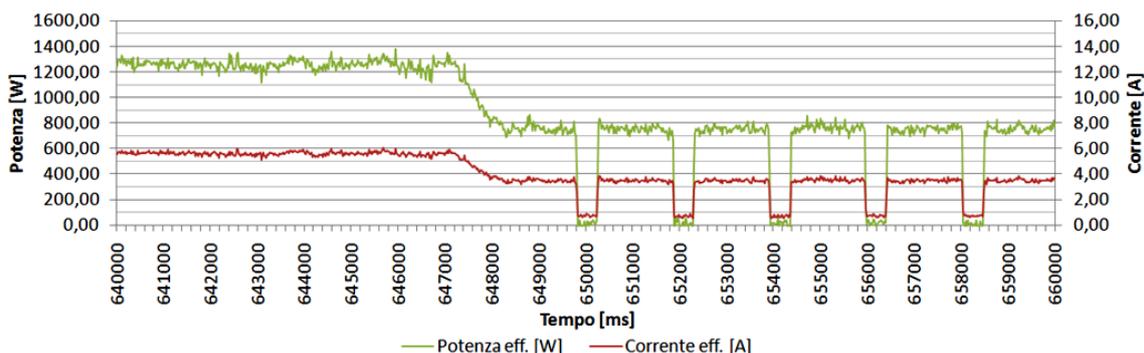


Figura 5.51 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace tra fine cottura pasta ed inizio cottura carne.

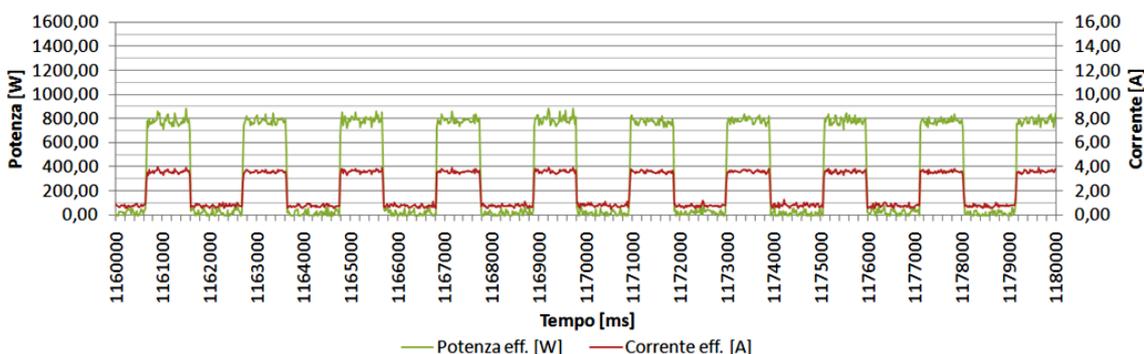


Figura 5.52 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza e corrente efficaci tra fine cottura carne e mantenimento in caldo della stessa.

Una volta compreso il profilo di assorbimento relativamente ai valori efficaci si può procedere con la forma d'onda. In realtà il discorso è simile a quello visto nella prima analisi, tuttavia questa volta si può vedere che all'accensione, prima di arrivare alla potenza massima, passa quasi un secondo durante il quale la corrente appare molto disturbata, per poi proseguire sotto forma di sinusoidi "pulite" (da Figura 5.53 a Figura 5.55); inoltre, prima dell'attivazione delle bobine al di sotto del piano, si nota comunque un assorbimento di corrente minimo e abbastanza disturbato corrispondente all'alimentazione dei circuiti elettronici interni.

Un'ultima e opportuna osservazione che si può fare sul piano ad induzione, visto che si è monitorata una situazione molto comune, è vedere quanto questo apparecchio consumi durante un ciclo di cottura completo per un pasto. Con una potenza media misurata di 840 W, in 25 minuti si ha un consumo di 0,35 kWh.

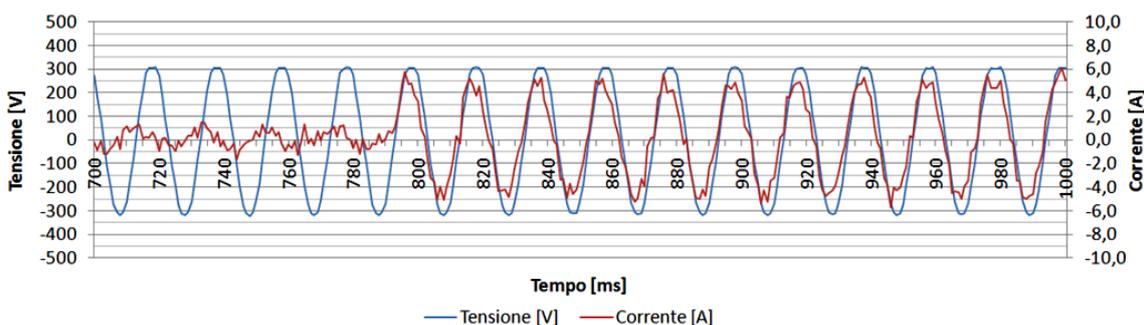


Figura 5.53 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee all'accensione.

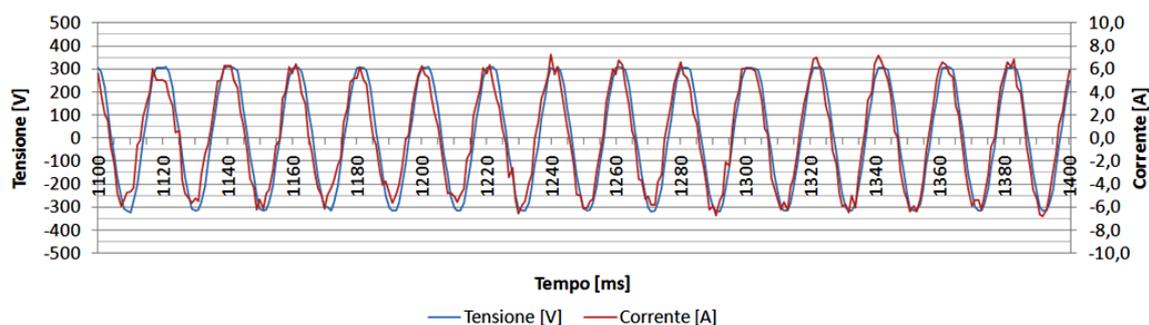


Figura 5.54 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanea poco tempo dopo l'accensione.

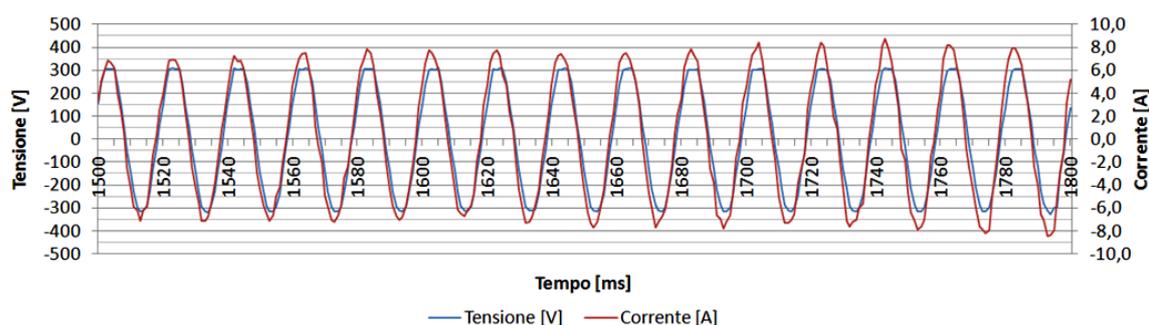


Figura 5.55 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanea a regime.

5.7 Lavabiancheria

La lavabiancheria è un elettrodomestico immancabile in ogni appartamento, poiché sono ormai lontani i tempi in cui si lavava a mano nel lavatoio in cantina o in giardino. Con l'introduzione delle lavatrici automatiche (i primi meccanismi risalgono agli anni '50, fino ad arrivare agli oggetti tecnologici dei nostri tempi) è avvenuta una rivoluzione nel ramo dei lavori domestici, grazie al fatto che riducono notevolmente il tempo da dedicare ad un lavoro necessario quale il lavaggio della biancheria, lasciandone di più per altri impegni o per momenti di svago.

La lavabiancheria in esame è un modello abbastanza datato, infatti il suo acquisto risale al 2001, tuttavia all'epoca era una lavatrice di livello medio-alto. Si tratta di un apparecchio elettronico con varie modalità di lavaggio preimpostate ma modificabili in alcuni parametri (ad esempio la quantità o la temperatura dell'acqua). Nelle indagini portate avanti si è seguito il funzionamento in modalità "Jeans", modalità che per esperienza si presta bene al lavaggio di gran parte dei capi d'abbigliamento, delle vettovaglie e della biancheria in generale.

In *Tabella 5.11* sono riportati i dati di targa dell'apparecchio e un'immagine rappresentativa dell'apparecchio in questione.

Marca e modello	LG WF-T6001TP
Alimentazione	230 V ~ 50 Hz
Capacità	6,0 kg
Consumo	330 W

Tabella 5.11 – Specifiche tecniche lavabiancheria.



Figura 5.56 – Foto della lavabiancheria monitorata.

Il ciclo monitorato dura in totale circa 54 minuti ed è costituito da fasi distinte e ripetute più volte:

- carico dell'acqua;
- lavaggio o risciacquo;
- scarico dell'acqua;
- centrifuga.

Per quanto riguarda il ciclo di lavaggio monitorato, esso è suddiviso nella maniera seguente (tra parentesi il tempo progressivo del ciclo):

- 2 min e 45 s: carico iniziale di acqua calda e fredda ad una temperatura di circa 20 °C, con una fase di movimentazione del cestello per il bilanciamento corretto della biancheria;
- 15 min e 17 s (18 min e 02 s): lavaggio con ripetute inversioni di rotazione del cestello (due ritmi di rotazione diversi: 1,5 s di rotazione e 0,5 s di pausa, oppure 0,5 s di rotazione e 0,5 s di pausa) e movimentazione dell'acqua tramite "turbine" elicoidali sul fondo del cestello;⁴¹
- 2 min e 54 s (20 min e 56 s): scarico dell'acqua sporca di lavaggio;
- 1 min e 55 s (22 min e 51 s): centrifuga con veloce rotazione del cestello alternando 4 secondi di rotazione a 6 secondi di pausa circa;
- 1 min e 28 s (24 min e 19 s): pausa per consentire un maggiore smaltimento d'acqua dalla biancheria;
- 2 min e 45 s (27 min e 4 s): nuovo carico di acqua fredda;
- 3 min e 3 s (30 min e 7 s): risciacquo (il meccanismo è lo stesso del lavaggio, ma senza detersivo);
- 2 min e 53 s (33 min e 00 s): scarico dell'acqua di risciacquo;
- 5 min e 15 s (38 min e 15 s): centrifuga, simile alla prima ma con l'ultimo azionamento più prolungato;

⁴¹ Le tre turbine in questione, ruotando in direzione opposta rispetto a quella del cestello, creano dei moti vorticosi che favoriscono lo strofinio dei capi migliorando il lavaggio.

- 2 min e 46 s (41 min e 01 s): carico acqua fredda;
- 3 min e 2 s (44 min e 03 s): risciacquo;
- 2 min e 54 s (46 min e 57 s): scarico dell'acqua di risciacquo;
- 7 min (53 min e 57 s): centrifuga.

Per caratterizzare il tipo di assorbimento dell'apparecchio può essere utile dire che è composto essenzialmente da una scheda elettronica, da un motore che movimenta il cestello, da due elettrovalvole collegate alle mandate di acqua calda e fredda e da una piccola pompa per lo scarico dell'acqua. Considerando che l'alimentazione della scheda è in bassissima tensione, il suo contributo può essere ritenuto trascurabile se inserito nel contesto. A questo punto, per mostrare come sono distribuite le varie azioni compiute dalla lavabiancheria, ne presentiamo il profilo di assorbimento a diversi livelli di approfondimento. In coda ai grafici relativi ai valori efficaci si riportano dei tratti di andamento istantaneo, in modo da comprendere anche la forma d'onda della corrente assorbita.

Dalla *Figura 5.57* alla *Figura 5.67* è visualizzato l'intero ciclo suddiviso in porzioni di 5 minuti, in modo da avere comunque un quadro complessivo. Nelle immagini successive, invece, si possono vedere alcuni tratti significativi più ingranditi, per far percepire meglio la qualità e la durata dei vari meccanismi che intervengono.

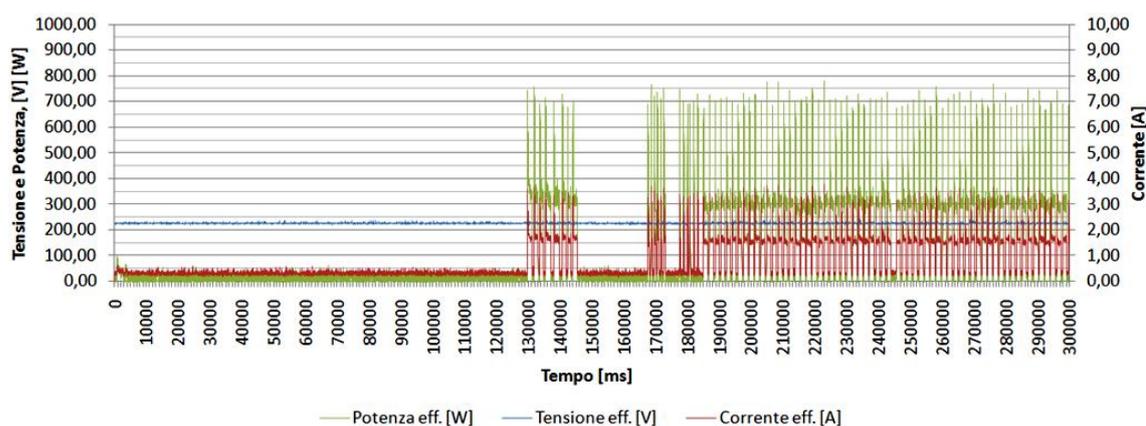


Figura 5.57 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci nei primi 5 minuti.

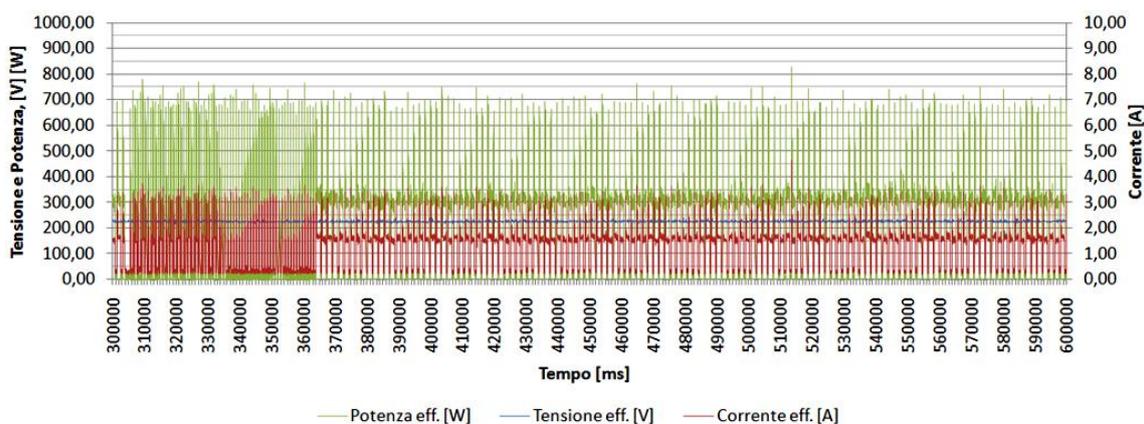


Figura 5.58 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 5° e il 10° minuto.

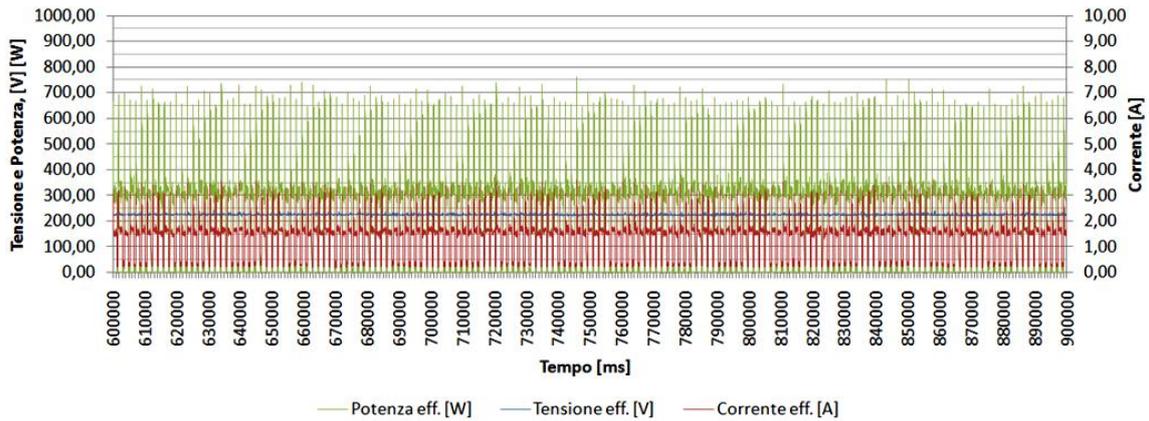


Figura 5.59 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 10° e il 15° minuto.

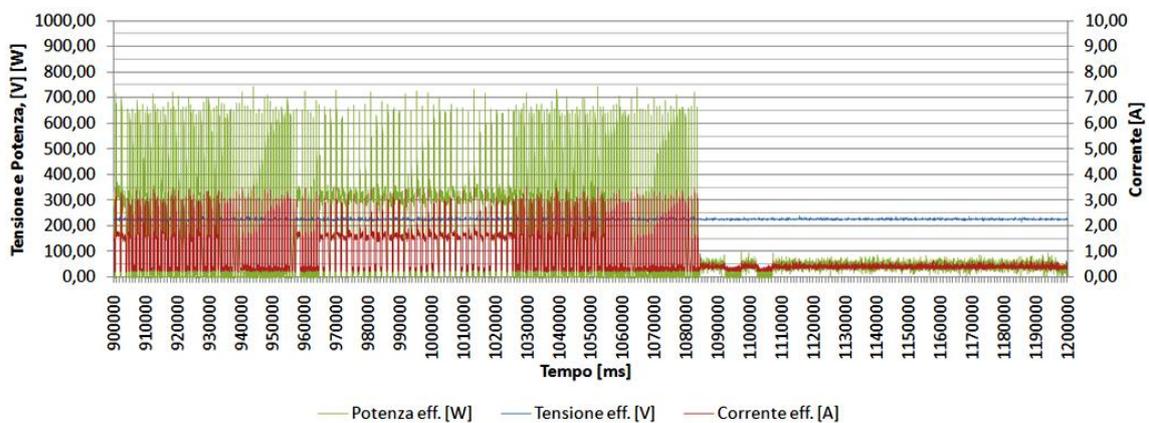


Figura 5.60 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 15° e il 20° minuto.

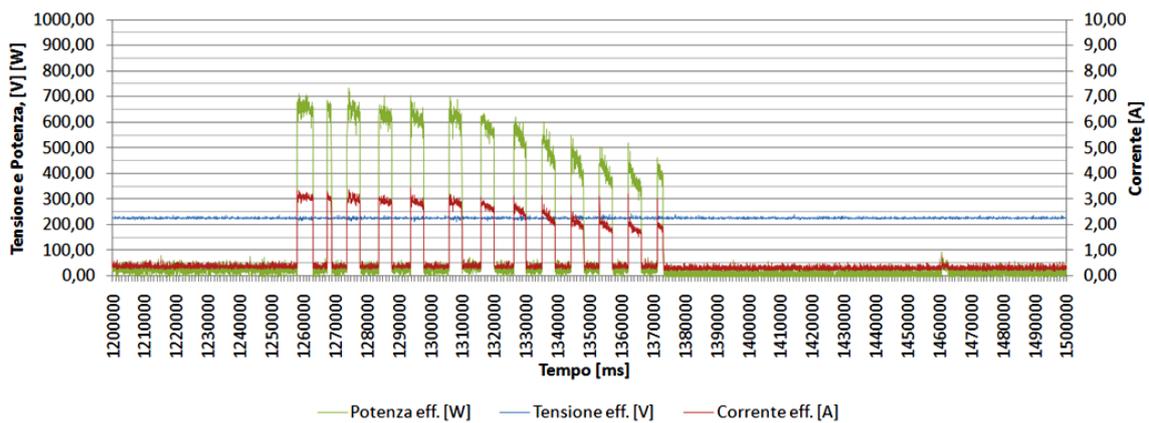


Figura 5.61 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 20° e il 25° minuto.

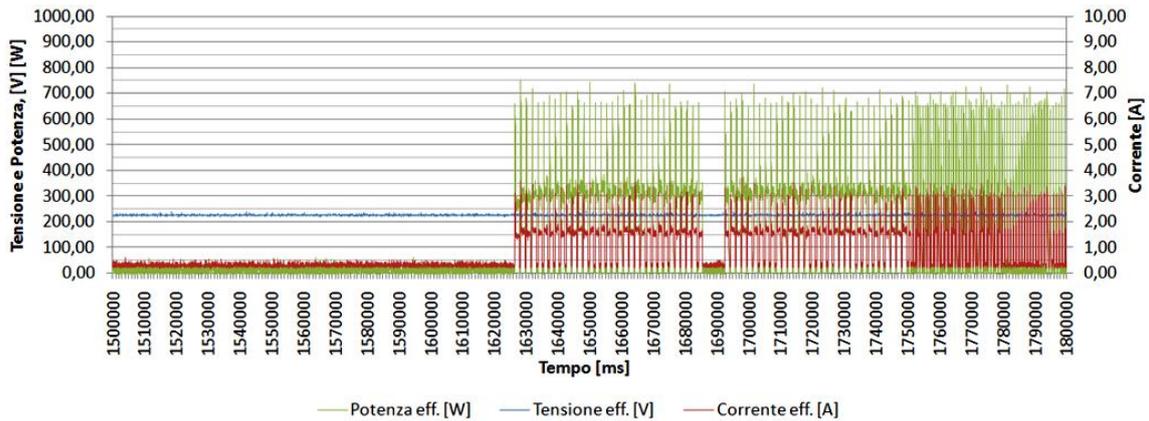


Figura 5.62 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 25° e il 30° minuto.

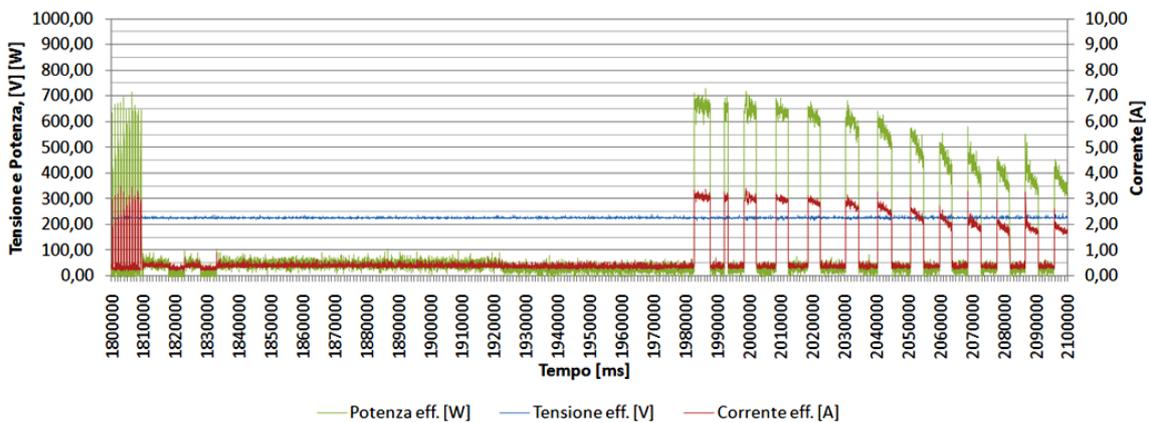


Figura 5.63 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 30° e il 35° minuto.

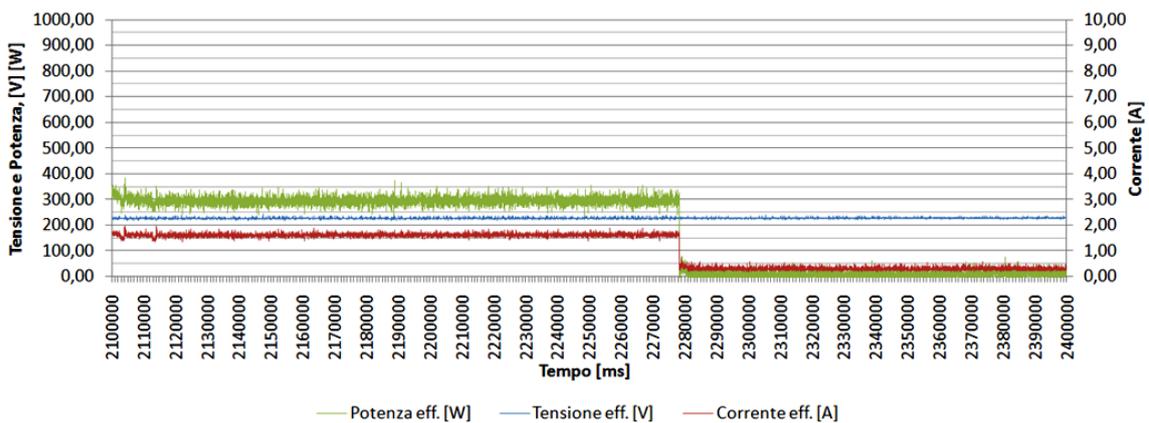


Figura 5.64 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 35° e il 40° minuto.

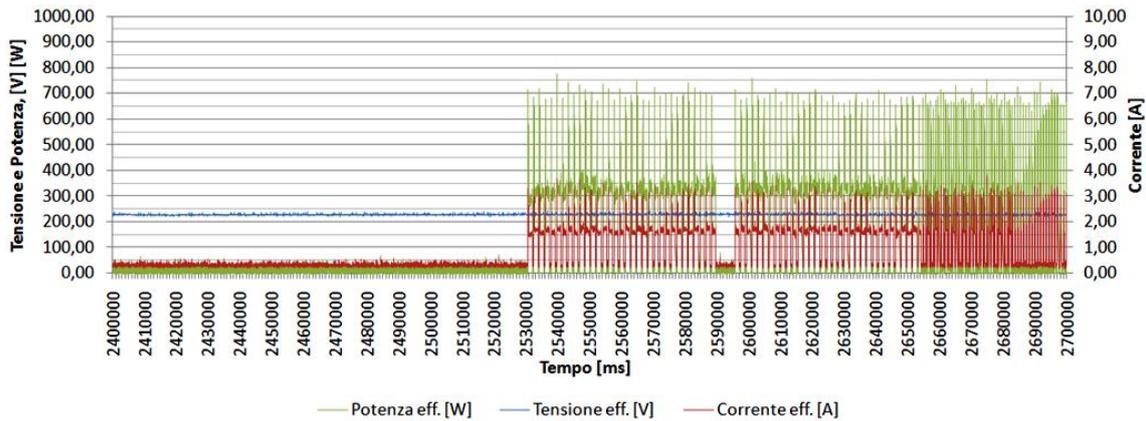


Figura 5.65 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 40° e il 45° minuto.

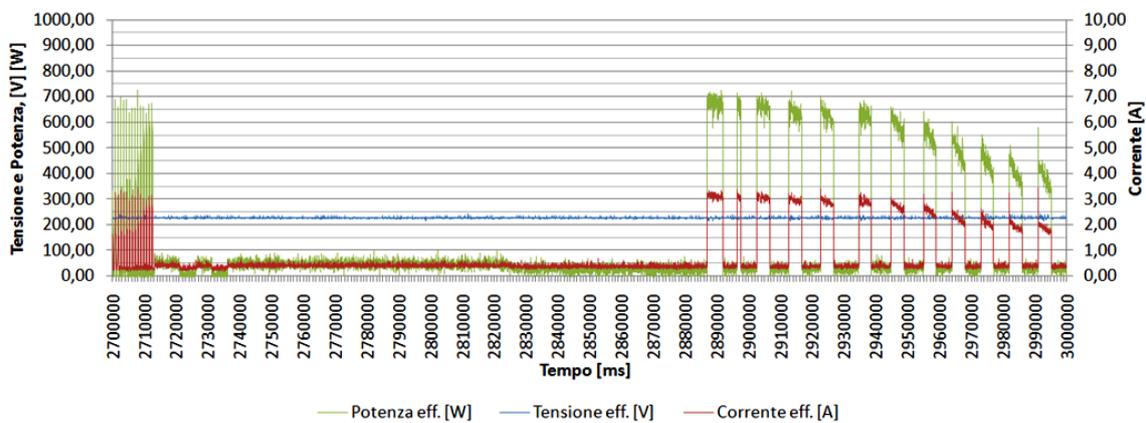


Figura 5.66 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 45° e il 50° minuto.

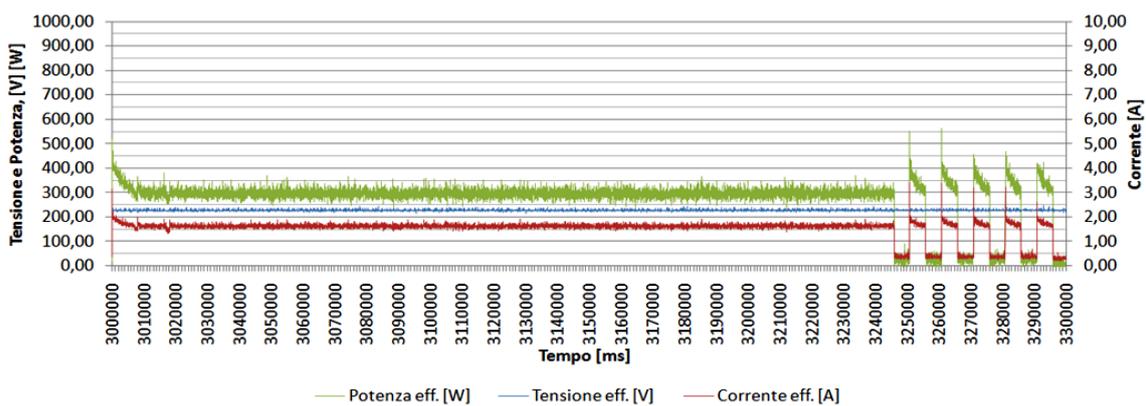


Figura 5.67 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 50° e il 55° minuto (fine ciclo).

Ora che è stato presentato interamente il ciclo di lavaggio, vediamo nello specifico qual è il comportamento durante alcune fasi di funzionamento dell'apparecchio, partendo dall'avvio. I due grafici seguenti (Figura 5.68 e Figura 5.69) mostrano l'attivazione delle elettrovalvole sulle mandate dell'acqua, infatti la variazione di assorbimento è concentrata in un paio di secondi e

limitata ad alimentare il meccanismo di apertura/chiusura, mentre l'afflusso di acqua è garantito naturalmente dalla pressione di rete.

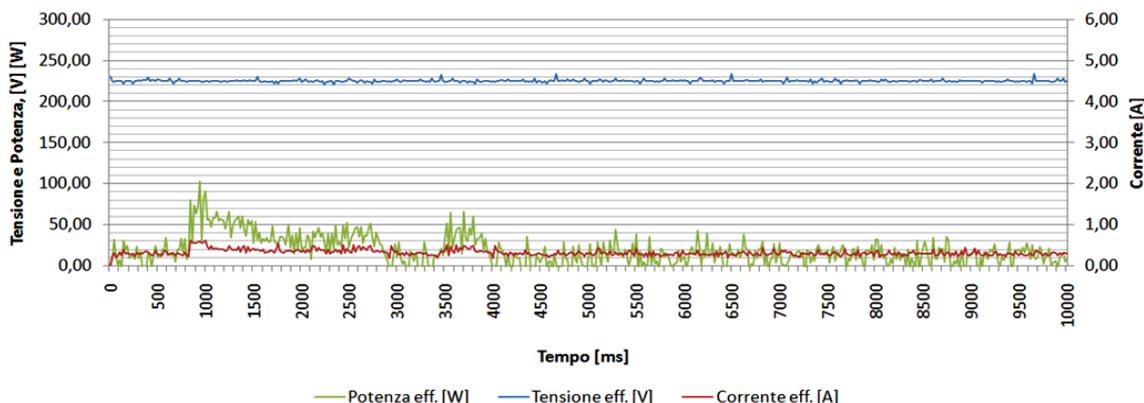


Figura 5.68 – Lavabiancheria: ingrandimento di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase di avvio (attivazione delle elettrovalvole di mandata dell'acqua).

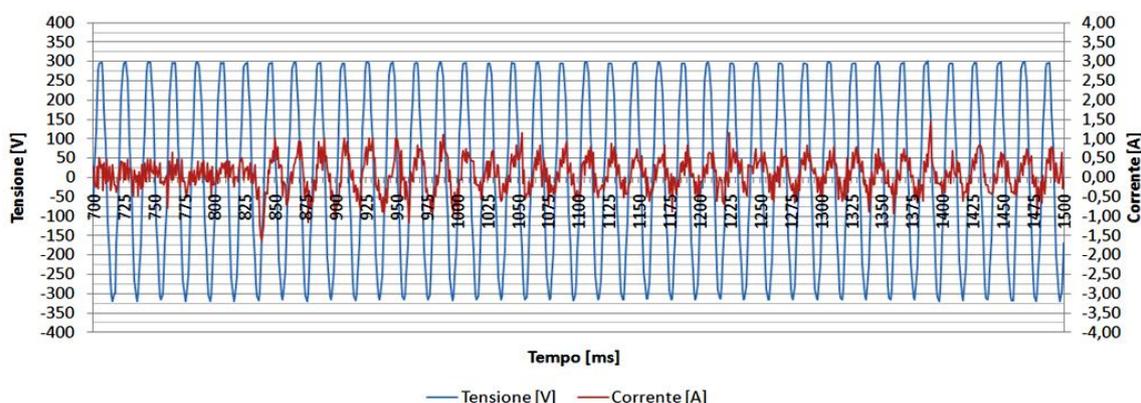


Figura 5.69 – Lavabiancheria: ingrandimento di tensione e corrente istantanee nel momento di attivazione delle elettrovalvole di mandata dell'acqua.

Dal secondo dei due grafici, nonostante la segmentazione della curva non ne faciliti la lettura, è comunque percepibile un leggero sfasamento in ritardo della corrente rispetto alla tensione, il che ci permette di scoprire senza smontare l'apparecchio che anche in questo caso siamo in presenza di un circuito ohmico-capacitivo, che contiene quindi al suo interno resistenze e condensatori (in piccola parte, poiché lo sfasamento è minimo).

Qui di seguito (Figura 5.70, Figura 5.71 E Figura 5.72) mostriamo cosa accade poco prima e poco dopo l'inizio del lavaggio. Come già accennato, già prima di iniziare a lavare si mette in azione il motore del cestello per distribuire al meglio il carico della biancheria. Essendo questo alimentato da un semplice motore, il grafico in questione mostra una fase di spunto iniziale (uguale a prescindere della durata totale di rotazione) e una fase successiva a consumo costante per ogni inversione di marcia. Nonostante si tratti di una potenza assorbita per brevi periodi, la quantità di inversioni di marcia fa sì che il consumo in fase di spunto a livello di gestione vada considerato quasi alla pari di una potenza a regime. Infatti, se per un frigorifero l'avvio del compressore occupa una minima parte dell'intero ciclo, per una lavatrice di questo tipo gli assorbimenti di picco sono molto più frequenti; in un'ottica di gestione della contemporaneità dei carichi diventa quindi più complesso gestire una lavatrice assieme ad altri elettrodomestici, e la scelta migliore rimane quella di fare il bucato in momenti in cui non vi

siano ulteriori carichi elettrici consistenti in uso (ad esempio la sera, oppure di notte se la partenza può essere programmata automaticamente).

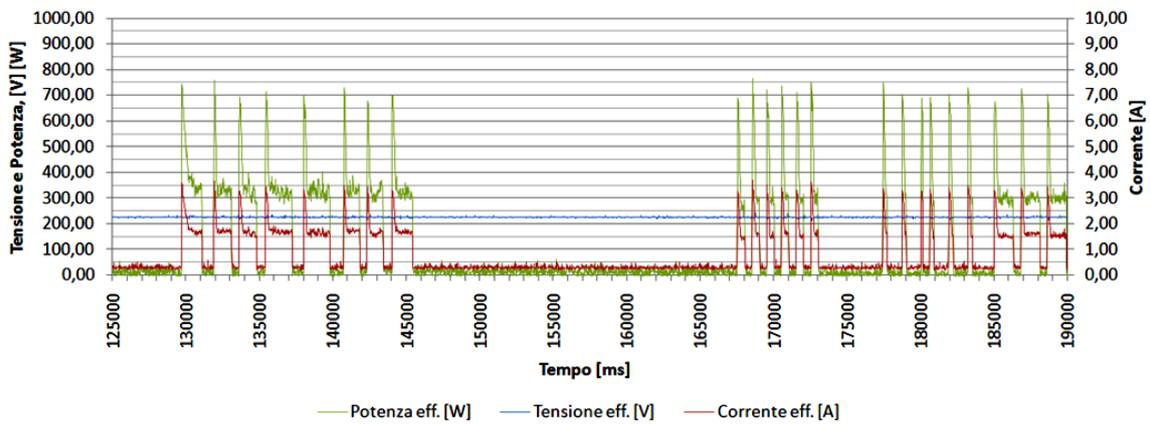


Figura 5.70 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase di bilanciamento (prima serie di rotazioni del cestello) e inizio lavaggio (dalla seconda serie in avanti).

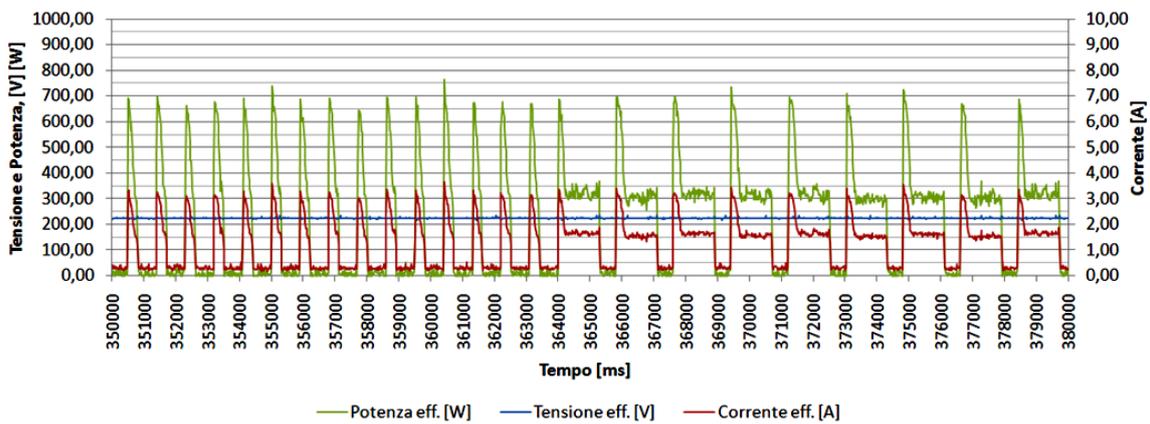


Figura 5.71 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase lavaggio.

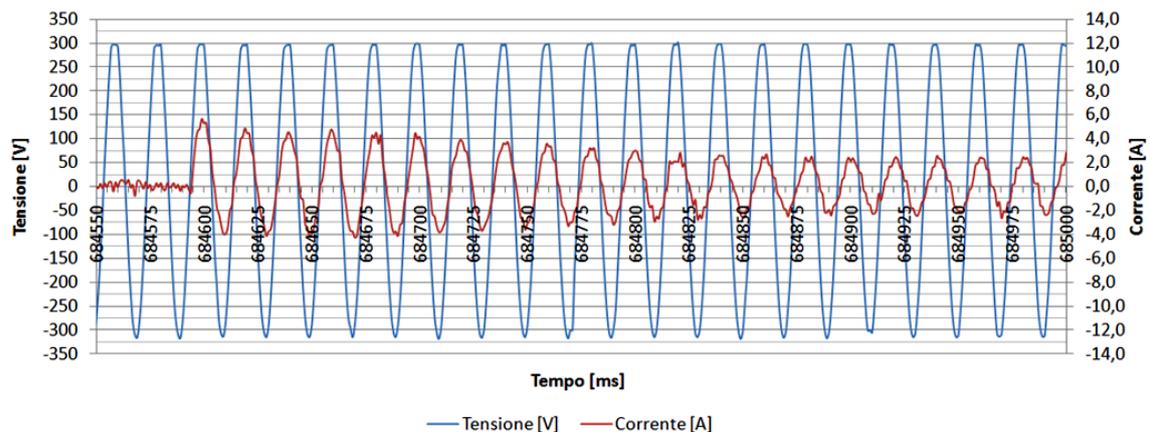


Figura 5.72 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all'avvio del cestello.

Tutta la fase di lavaggio, come anche quelle di risciacquo, è scandita quindi da una serie di inversioni di marcia ripetitive e di durata variabile, in alcuni periodi le rotazioni sono più brevi (circa 0,5 s) mentre in altri sono più lunghe (circa 1,3 s).

La fase successiva (*Figura 5.73 e Figura 5.74*) è quella relativa allo scarico dell'acqua di lavaggio/risciacquo, in cui, a differenza del carico, non vi è l'intervento di un'elettrovalvola ma viene avviata una piccola pompa ad immersione per smaltire l'acqua anche a quote superiori rispetto a quella della pompa stessa. In questo caso, poiché il meccanismo è mosso da un motore vale lo stesso discorso fatto per il cestello, solo che la potenza è nettamente ridotta (47 W a regime e 90 W di spunto) e la periodicità è differente: ogni ciclo di scarico, infatti, prevede una prima attivazione di circa 8 secondi, seguita da una pausa, una nuova attivazione e un'altra pausa tutte e tre da 5 secondi l'una, fino all'ultima attivazione che si protrae fino ad esaurimento dell'acqua. Anche in questo caso, come per tutte le altre fasi (compreso il funzionamento del motore di rotazione), si ha l'intervento di alcuni condensatori che provocano uno sfasamento della corrente.

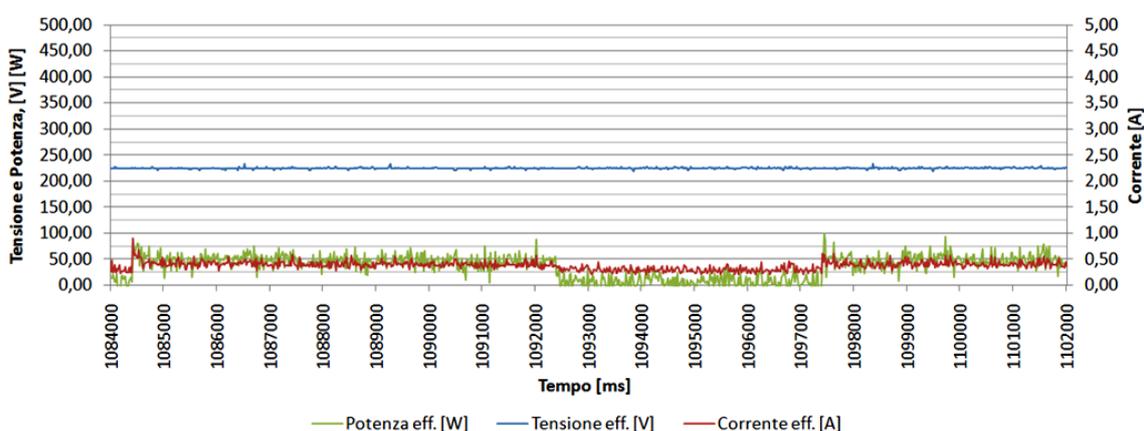


Figura 5.73 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all'avvio della pompa di scarico dell'acqua.

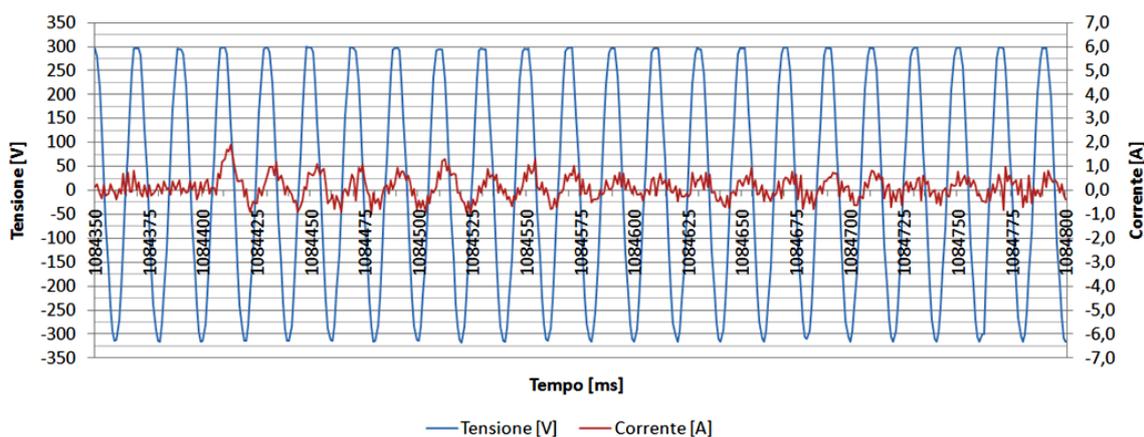


Figura 5.74 – Lavabiancheria: dettaglio di tensione, potenza e corrente istantanei all'avvio della pompa di scarico dell'acqua.

L'ultimo aspetto che andiamo a visionare è quello relativo alla fase di centrifuga dei capi. In questo caso, a differenza della fase di lavaggio, il motore ha un funzionamento variabile non

ciclico. Come abbiamo visto, durante il lavaggio il cestello viene alimentato sempre con la stessa potenza ad ogni inversione di marcia e l'unica differenza consiste nell'assorbimento maggiore all'avvio; durante la centrifuga, invece, il motore di rotazione inizia a funzionare alla massima potenza consentita poiché la biancheria è ancora bagnata e quindi lo sforzo è maggiore; successivamente si registra una progressiva diminuzione dell'assorbimento elettrico, segno che la forza centrifuga sta smaltendo correttamente l'acqua (Figura 5.75). La conferma di quanto detto è ben visibile in Figura 5.76: inizialmente, infatti, il motore gira alla massima potenza ed è difficilmente distinguibile la corrente di spunto (poco più di 4 A, la medesima che si rileva in fase di lavaggio, come indicato in Figura 5.72) dalla corrente di regime, diversamente da quanto accade invece verso la fine.

Nell'ultima immagine relativa alla lavabiancheria (Figura 5.77) riportiamo l'andamento istantaneo di tensione e corrente in alcuni tratti della centrifuga, in modo da argomentare in maniera completa le affermazioni appena fatte. Dall'andamento sinusoidale della corrente si apprezza la minima differenza tra l'ampiezza dell'onda in avvio e quella a regime (circa 1 A su 7) alla prima rotazione col carico ancora bagnato, mentre alla fine, con l'acqua quasi completamente smaltita si ha una differenza maggiore (3 A, ovvero il 43%).

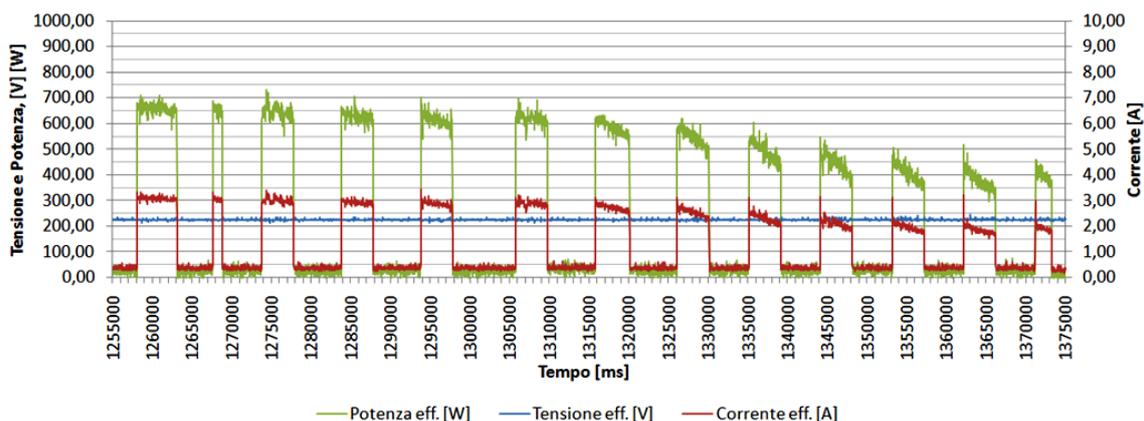


Figura 5.75 – Lavabiancheria: potenza media e tensione e corrente efficaci durante il primo ciclo di centrifuga.

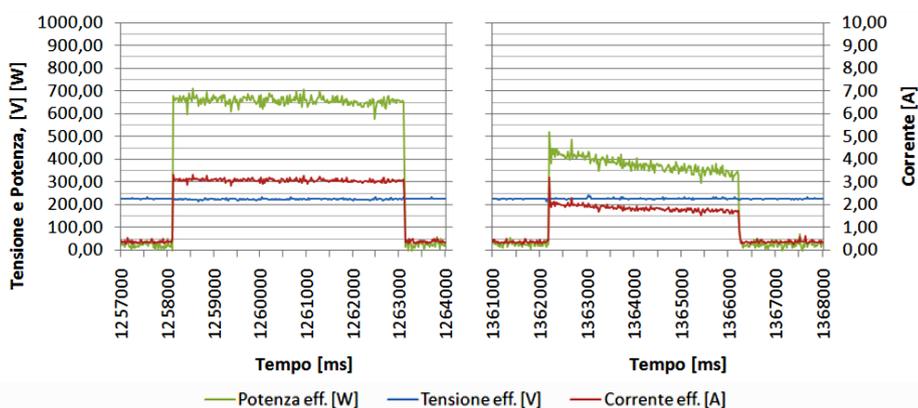


Figura 5.76 – Lavabiancheria: dettagli di potenza media e tensione e corrente efficaci alla prima e alla penultima rotazione del primo ciclo di centrifuga.

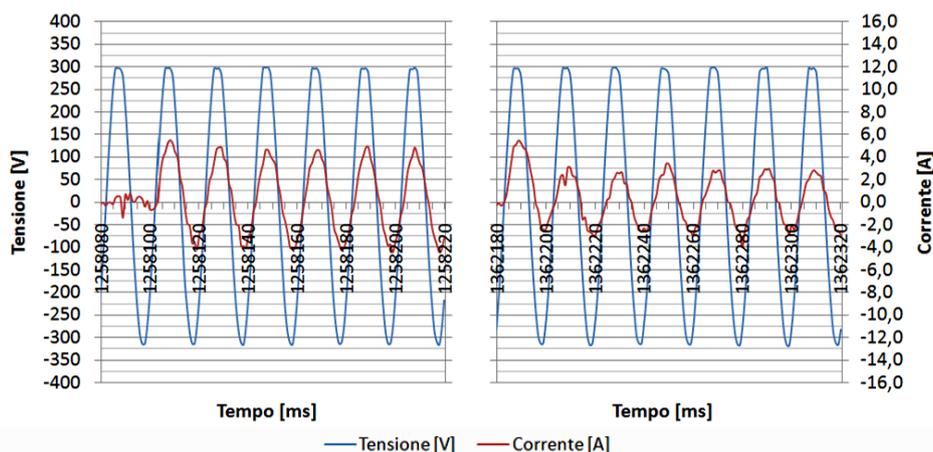


Figura 5.77 – Lavabiancheria: dettagli di tensione e corrente istantanee all’inizio della prima (a sinistra) e della penultima (a destra) rotazione del primo ciclo di centrifuga.

In ultima analisi procediamo alla determinazione dei principali parametri di consumo per il ciclo di lavaggio analizzato. Poiché il funzionamento di questo apparecchio è scandito da più attività distinte, si è ritenuto utile ai fini del lavoro scomporre il fabbisogno energetico tra le varie fasi del ciclo, in modo da caratterizzarli sia qualitativamente sia quantitativamente. Questa analisi potrebbe permettere di pianificare un utilizzo più razionale della lavabiancheria senza necessariamente dover scendere al compromesso di scollegare altri apparecchi (magari facendo traslare la curva di carico elettrico rispetto ad esempio a quella della lavastoviglie in modo da ridurre la probabilità che l’assorbimento complessivo vada oltre la soglia imposta dall’ente erogatore di energia elettrica).

In *Tabella 5.12* sono indicati i dati relativi a corrente e potenza efficaci (valore medio e valore massimo), uniti al consumo medio rilevato.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Carico 1*	165	3,7	0,4	759,1	37,5	1,7
Lavaggio 1	917	4,6	1,3	826,4	247,2	63,0
Scarico 1	174	0,9	0,4	98,3	36,3	1,8
Centrifuga 1	115	3,4	1,3	731,8	245,9	7,9
Pausa	88	-	-	-	-	-
Carico 2	165	0,8	0,3	93,7	13,7	0,6
Risciacquo 2	183	3,7	1,3	751,4	232,0	11,8
Scarico 2	173	0,9	0,4	105,8	37,2	1,8
Centrifuga 2	315	3,4	1,5	729,9	274,9	24,1
Carico 3	166	0,7	0,3	78,4	11,3	0,5
Risciacquo 3	182	3,8	1,3	778,2	238,8	12,1
Scarico 3	174	0,8	0,4	102,1	37,5	1,8
Centrifuga 3	420	3,4	1,5	725,5	267,5	31,2
Ciclo intero	3237	4,6	1,0	826,4	180,8	158

* Ricordiamo che nella prima fase di carico è compresa per alcuni tratti la rotazione del cestello.

Tabella 5.12 – Tabella riassuntiva del consumo della lavabiancheria nelle varie fasi.

Come ci si poteva aspettare, dato che l'assorbimento elettrico per la rotazione del cestello è di gran lunga maggiore rispetto alle altre operazioni, le fasi a più alto consumo sono rappresentate dal lavaggio, dal risciacquo e dalle varie centrifughe. Per questo motivo, nel momento in cui si debba definire una strategia per la gestione di carichi contemporanei, è opportuno concentrare i ragionamenti principalmente in queste fasi, analizzando secondariamente quelle relative al carico o allo scarico dell'acqua.

5.8 Ferro da stiro

Il ferro da stiro è un altro elettrodomestico essenziale per qualsiasi abitazione, serve infatti a mettere in ordine la biancheria pulita prima di riporla negli appositi cassetti. Il funzionamento si basa essenzialmente su una resistenza che scalda una piastra metallica che andrà poi a contatto con i capi da stirare. Già da tempo, tutti i modelli dispongono anche di un erogatore di vapore per inumidire la superficie di lavoro ed agevolare quindi l'eliminazione delle pieghe. Una ulteriore funzionalità sta nella possibilità di regolare la potenza termica fornita in base al tipo di tessuto che si sta stirando, variando quindi l'azione scaldante.

L'apparecchio monitorato in questa sede è un modello non recente ma di buon livello, che consente tre diversi livelli di potenza termica e due modalità di erogazione del vapore.

Marca e modello	Tefal FV5210 Aquaspeed
Alimentazione	220-240 V ~ 50/60 Hz
Consumo min di potenza	1850 W
Consumo max di potenza	2200 W

Tabella 5.13 – Specifiche tecniche ferro da stiro.



Figura 5.78 – Immagine del modello di ferro da stiro monitorato.

L'analisi di cui mostriamo i risultati è stata effettuata usando l'apparecchio alla massima potenza, e nei grafici riportati in seguito si può visualizzare in maniera abbastanza chiara la differenza di comportamento all'avvio e durante un normale uso. Il grafico in *Figura 5.79* rappresenta in linea di massima i primi 5 minuti di funzionamento, in cui si può distinguere una prima fase di assorbimento prolungato, in modo da raggiungere la temperatura impostata, e una fase successiva di utilizzo continuativo (in questo caso si trattava di un lenzuolo, quindi le interruzioni per il riposizionamento del capo erano molto brevi rispetto ai periodi di contatto piastra-tessuto). Osservando particolarmente le zone di funzionamento continuo, si può notare che, essendo la dispersione termica circa costante, i periodi di riscaldamento e i periodi

di raffreddamento si alternano in maniera ciclica ad intervalli più o meno regolari; dai conti, infatti, si hanno circa 10-12 secondi di riscaldamento della piastra ogni 23-25 secondi di raffreddamento. In ogni caso, trattandosi di una regolazione di tipo On/Off, il profilo di assorbimento è a due gradini: spento e acceso a potenza massima. Relativamente ai valori rilevati, il consumo del ferro da stiro è risultato in linea con i dati di targa riportati sul prodotto; infatti, per una tensione di circa 220 V la potenza massima misurata è stata di 1850 W.

A riguardo della forma d'onda non è necessario spendere troppe parole, infatti trattandosi di una semplice resistenza si ha un andamento della corrente di tipo sinusoidale e perfettamente in fase con la tensione.

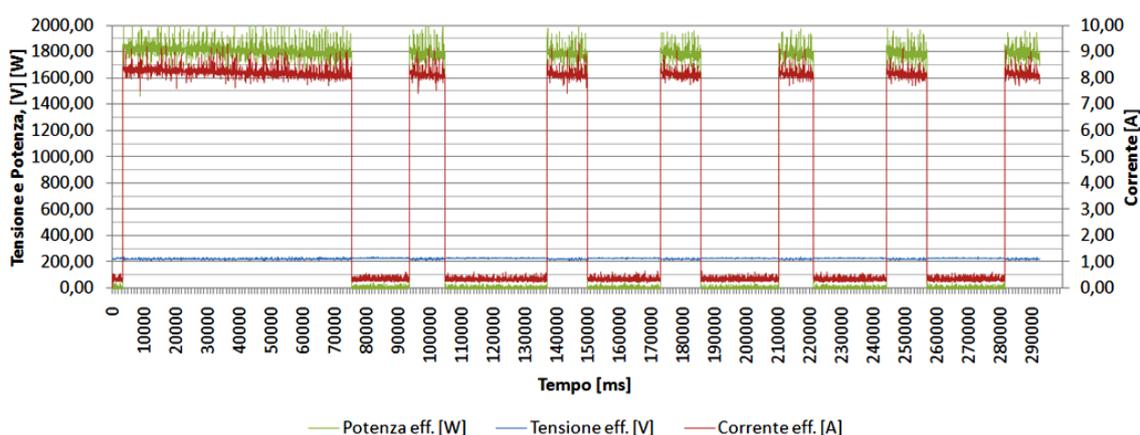


Figura 5.79 – Ferro da stiro: potenza media e tensione e corrente efficaci durante i primi 5 minuti di funzionamento.

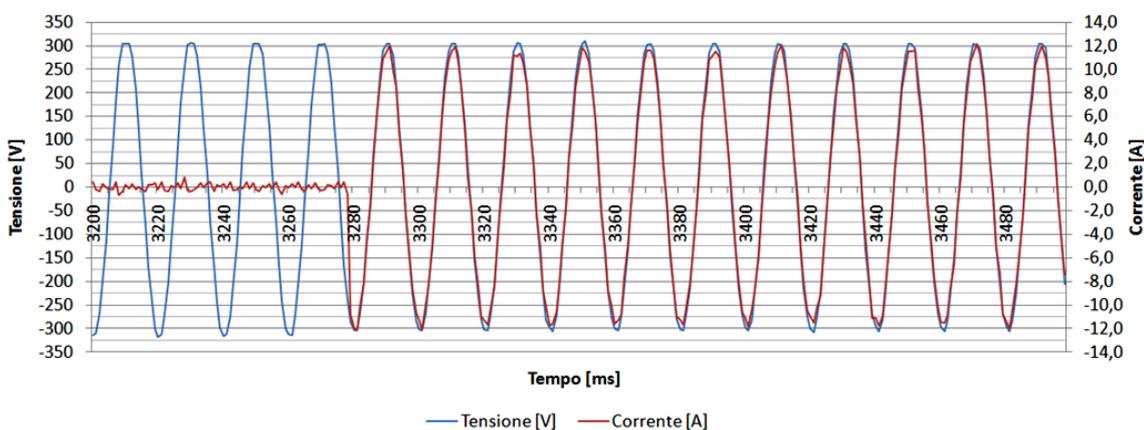


Figura 5.80 – Ferro da stiro: tensione e corrente istantanee durante i primi 5 minuti di funzionamento.

Nella *Tabella 5.14* sono riassunti nel dettaglio i parametri di consumo riferiti ad un'ora di utilizzo, indicando valori massimi e medi di corrente assorbita e potenza dissipata.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Riscaldamento	72	9,3	8,2	2110,4	1810	36,2
Uso continuato	60	9,4	3,0	2036,1	607	10,1

Tabella 5.14 – Tabella riassuntiva del consumo del ferro da stiro.

5.9 Lavastoviglie

La lavastoviglie è sicuramente uno degli elettrodomestici più importanti per le casalinghe moderne: essa, come la lavatrice, ha permesso infatti la riduzione dei tempi relativi al lavaggio delle stoviglie consentendo una maggiore quantità di tempo libero da poter dedicare ad altre attività.

Questo apparecchio vide la sua nascita proprio grazie all'inventiva di una donna, che tuttavia, essendo ricca e avendo a disposizione numerosi domestici, non fu mossa da un reale bisogno ma semplicemente dalla voglia di risolvere il problema delle numerose stoviglie rotte durante le operazioni manuali di lavaggio. Questa innovazione, che comunque consisteva in meccanismi azionati manualmente, non ebbe subito successo tra le mura domestiche, ma spopolò nell'ambito della ristorazione pubblica. Per avere la prima lavastoviglie azionata con motore elettrico, in Europa, si dovette attendere il 1929, mentre i modelli a controllo elettronico comparvero all'inizio degli anni '90.

Nei ristoranti, nei bar, nelle mense e negli altri locali di questo tipo, la lavastoviglie è tra gli elettrodomestici indispensabili: non solo assicura il lavaggio e l'asciugatura rapida di piatti e bicchieri, ma garantisce anche pulizia e disinfezione, proprio perché l'acqua ad alta temperatura ha la proprietà di eliminare gran parte di germi e batteri che proliferano sui piatti sporchi. Nell'ultimo decennio, poi, nonostante le prime difficoltà ad inserirsi in un contesto domestico, la sua diffusione è diventata estremamente capillare: in Italia, infatti, una casalinga su cinque ne fa uso abituale.

L'utilizzo della lavastoviglie è molto simile a quello della lavatrice: una volta collegata all'impianto idraulico e a quello elettrico, esegue i comandi impostati in maniera totalmente automatica. Appositi scomparti all'interno della lavastoviglie sono destinati ad accogliere i piatti e i bicchieri, in modo da consentirne il corretto lavaggio, e il detergente (liquido o a capsule). In base alle necessità, inoltre, è possibile scegliere diversi programmi di lavaggio che si differenziano principalmente per la temperatura dell'acqua e per la durata.

Il suo funzionamento è abbastanza semplice. Dopo aver inserito le scodelle e il detergente negli appositi scomparti e aver chiuso la lavastoviglie, bisogna scegliere il giusto lavaggio: per facilitare il compito, sui relativi fogli di istruzioni sono spiegati in modo approfondito tutti i tipi di lavaggio, specificando le relative temperature raggiunte dall'acqua e il tempo impiegato. Vediamo in generale quali sono le fasi principali di un ciclo di lavaggio completo.

Scelto il programma di lavaggio adatto, si preme il pulsante di avvio ed inizia la prima fase del lavaggio. Da questo momento l'acqua inizia ad essere riscaldata da una resistenza elettrica in modo da raggiungere la giusta temperatura (generalmente compresa in questa fase tra i 55 °C e i 65 °C) e, appena pronta, viene spinta tramite una pompa idraulica verso gli erogatori (dei tubolari cavi liberi di ruotare e dotati di ugelli) presenti all'interno della lavastoviglie e spruzzata ad alta pressione sulle stoviglie in modo da ammorbidire lo sporco. A questo punto, si aprono automaticamente gli sportelli del detersivo e del sale, che iniziano a mescolarsi all'acqua calda, e la miscela pulente così ottenuta viene nuovamente spruzzata con forza sulle stoviglie. Nella seconda fase, l'acqua raggiunge una temperatura compresa tra i 65 °C e gli 85 °C, al fine di eliminare le tracce di detergente e per disinfettare le stoviglie, e successivamente inizia l'erogazione del brillantante, se inserito, per dare lucentezza in particolare agli elementi in vetro. Alla fine delle due fasi, l'acqua sporca che si raccoglie sul fondo viene scaricata attraverso una pompa.

Inizia quindi l'asciugatura: mentre nelle lavastoviglie di qualche anno fa questa operazione era effettuata sfruttando sistematicamente la forza del vapore proveniente dal lavaggio delle

stoviglie, nei modelli di ultima generazione esistono programmi appositi che prevedono l'erogazione di aria calda o vapore all'interno della lavastoviglie.

Guardiamo ora gli aspetti energetici generici. Come accade per gli altri elettrodomestici, il consumo elettrico è indicato con una lettera dell'alfabeto, tanto più alta quanto maggiore è il consumo. Gli apparecchi migliori risultano quindi quelli di classe A, che utilizzano indicativamente una quantità di energia minore o uguale a 232 kWh in un anno⁴². Per quanto riguarda il consumo dell'acqua, gli ultimi modelli di lavastoviglie utilizzano per lo più tra i 14 e i 15 litri d'acqua ogni lavaggio. Tuttavia esistono diversi cicli di lavaggio, inoltre, assicurano una maggiore riduzione degli sprechi perché consentono di scegliere la giusta temperatura dell'acqua in base al livello di sporco delle stoviglie: stoviglie poco sporche, infatti, richiedono un ciclo di lavaggio più breve rispetto a stoviglie molto sporche. Un'ulteriore funzionalità disponibile in alcuni modelli e molto utile dal punto di vista del risparmio energetico è rappresentata dalla partenza ritardata: un timer interno consente infatti di programmare il lavaggio all'orario prestabilito, senza la necessità di un intervento manuale.

Veniamo al caso pratico monitorato. Si tratta di una lavastoviglie piuttosto recente (ha poco meno di 5 anni) in classe energetica A, quindi a bassi consumi, e di taglia⁴³ conforme alle esigenze domestiche standard, quindi risulta rappresentativo per lo studio in corso. Il consumo annuo indicato è riferito al ciclo di lavaggio "Eco", mentre nel nostro caso si è analizzato il funzionamento in modalità "Rapido". In ogni caso è possibile confrontare i risultati ottenuti in quanto il produttore indica il consumo annuo per ognuna delle modalità. Nelle due tabelle che seguono si riportano i dati significativi della lavatrice e le caratteristiche di funzionamento nelle varie modalità.



Figura 5.81 – Immagine del modello di lavastoviglie monitorato.

⁴² Secondo il DM 10/11/1999 la classe A si raggiunge con un consumo non superiore al 64% rispetto a quello misurato in laboratorio per una lavatrice standard di taglia media. Il consumo annuale di riferimento è ottenuto considerando 4 lavaggi a settimana per 52 settimane.

⁴³ Le lavastoviglie hanno un numero di coperti (numero di stoviglie lavabili per ogni ciclo) variabile: fino a 6 coperti, da 7 a 11 coperti, da 12 a 16 coperti. In base al numero di componenti e alle abitudini del nucleo familiare si sceglie quindi la taglia più adatta. Di norma, una famiglia di due o tre persone si orienta verso l'opzione da 12 coperti che, insieme a quelle da 9-10 coperti, rappresentano la taglia più facilmente reperibile in vendita.

Marca e modello	Bosch SGS45M22II
Alimentazione	230 V ~ 50 Hz
Corrente nominale	10 A
Potenza nominale	2300 W
Classe di efficienza energetica	A
Classe di efficienza di lavaggio	A
Classe di efficienza di asciugatura	A
Consumo di energia totale annuo*	231 kWh
Dimensioni (L x H x P)	850 x 600 x 600 mm
Peso netto	57 kg
Posizionamento	Libero
Elemento riscaldante	Nascosto
Numero di coperti	12
Numero di programmi	2 x 4
Numero di temperature di lavaggio	4
Massima temperatura di immissione acqua	60 °C
Sistema di asciugatura	Calore proprio
Partenza ritardata	Sì
Tempo massimo di partenza ritardata	19 h
Funzione "mezzo carico"	Sì
* Programma di riferimento Eco, 220 lavaggi annui (circa 4 a settimana).	

Tabella 5.15 – Specifiche tecniche Lavastoviglie.

	AUTO	ECO	RAPIDO	PRELAVAGGIO
Durata (minuti)	85-140	140	30	19
Temperatura acqua (°C)	55-65	50	45	Fredda
Consumo energetico un ciclo (kWh)	1,10-1,60	1,05	0,80	0,05
Consumo acqua per un ciclo (l)	10-17	14	10	4

Tabella 5.16 – Descrizione programmi di lavaggio (su fondo grigio il ciclo monitorato).

Nelle immagini seguenti è illustrato il ciclo di lavaggio seguito, mostrando l'andamento dei valori efficaci di tensione, corrente e potenza ogni 5 minuti di funzionamento (da *Figura 5.82* a *Figura 5.91*). È da precisare che le operazioni eseguite dalla lavastoviglie in esame non sono esattamente le stesse rispetto a quelle standard elencate ad inizio paragrafo, in quanto ovviamente ogni apparecchio è progettato in maniera diversa, quindi dopo aver fornito il quadro generale descriveremo le varie fasi nel dettaglio.

Nonostante si tratti di un assorbimento ridottissimo, a circa 5 secondi si può percepire in *Figura 5.82* l'attivazione dell'elettrovalvola di carico dell'acqua, mentre dopo circa un minuto parte il lavaggio: quando ancora l'acqua è a temperatura ambiente, si attiva prima una pompa ad altissima pressione da circa 200 W (con un calo di tensione di circa 1 V) per eliminare lo sporco più duro, mentre dopo qualche secondo e per quasi un minuto si avvia una pompa di potenza inferiore (70 W) che funzionerà per tutto il lavaggio. Come si può vedere più avanti negli ingrandimenti di *Figura 5.83*, *Figura 5.84* e *Figura 5.85*, essendo le pompe spinte da un normale motore, il profilo di carico per ognuna di esse è caratterizzato dal classico spunto iniziale e una seguente corrente di regime. Dopo questa fase iniziale parte il riscaldamento dell'acqua; il carico elettrico quindi raggiunge la potenza massima assorbita dall'apparecchio in

quanto, oltre alla pompa, si ha assorbimento di corrente anche da parte della resistenza di riscaldamento, che vale 1800 W e fa registrare un calo di tensione di circa 5 V (l'andamento istantaneo è visibile in *Figura 5.86*); da qui in poi e per dieci minuti abbondanti l'apparecchio esegue ripetuti cicli di erogazione in pressione, interrompendo l'alimentazione della resistenza scaldante nel momento in cui si raggiunge la temperatura dell'acqua impostata (*Figura 5.82*, *Figura 5.87*, *Figura 5.88*).

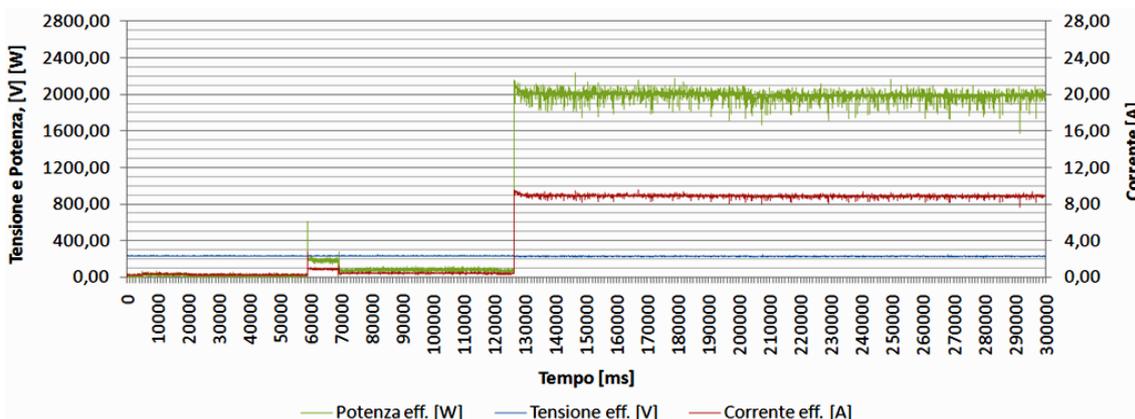


Figura 5.82 – Lavastoviglie: andamento di tensione, potenza e corrente efficaci nei primi 5 minuti.

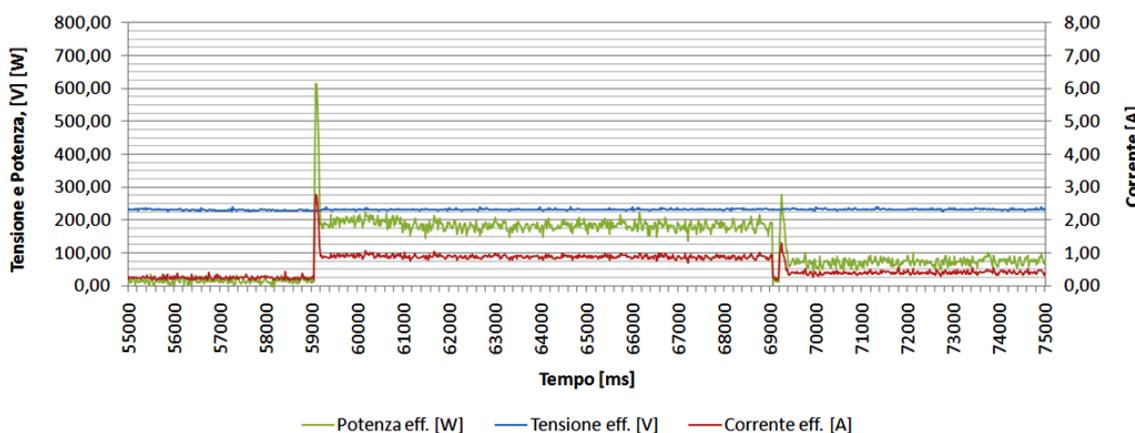


Figura 5.83 – Lavastoviglie: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all'avvio della pompa maggiore.

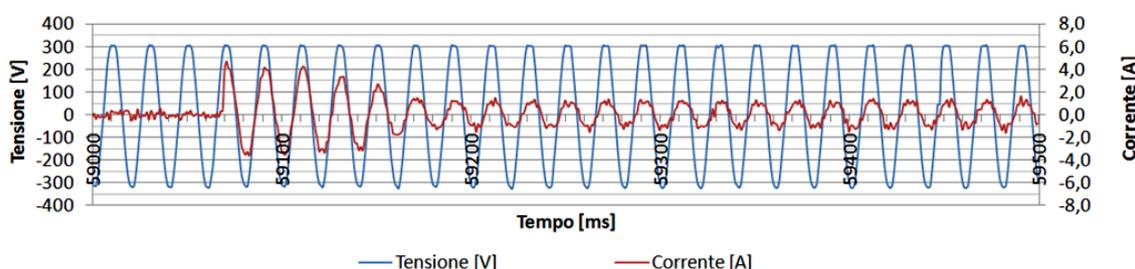


Figura 5.84 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all'avvio della pompa maggiore.

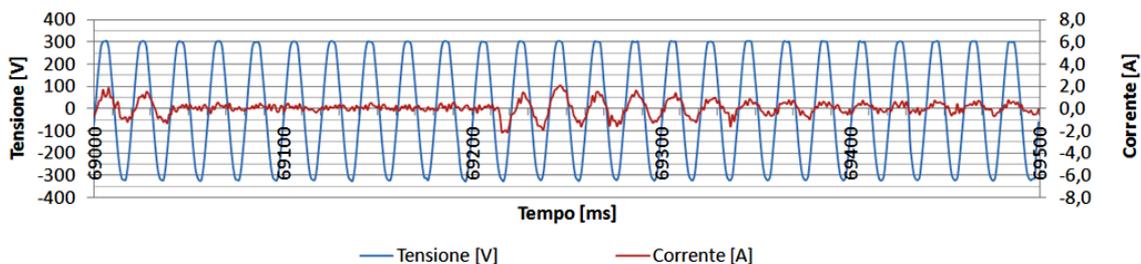


Figura 5.85 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all’avvio della pompa minore.

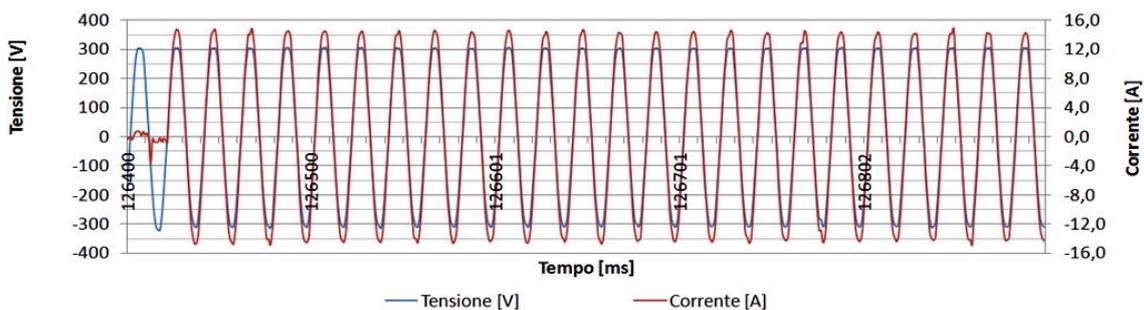


Figura 5.86 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all’avvio della resistenza scaldante.

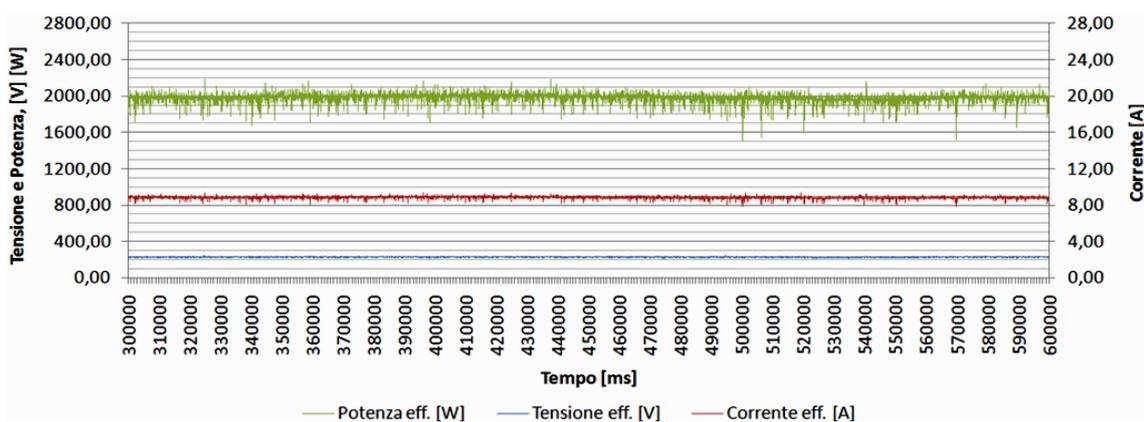


Figura 5.87 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 5° e il 10° minuto.

La figura seguente rappresenta l’ultima parte del lavaggio (la resistenza a un certo punto si spegne perché evidentemente si è raggiunta la temperatura massima), dopodiché l’acqua sporca viene scaricata tramite una pompa uguale a quella più potente usata in fase di lavaggio. Una volta svuotata la vasca viene quindi caricata dell’altra acqua per un primo risciacquo, tra il 13° e il 15° minuto di lavaggio (810÷895 s circa), che ripete le stesse operazioni del lavaggio ma dura di meno e non consuma detersivo (Figura 5.88 e Figura 5.89); al termine si ha di nuovo lo scarico dell’acqua sporca e l’ultimo carico per il risciacquo finale con l’aggiunta di brillantante (Figura 5.89, Figura 5.90 e Figura 5.91). In quest’ultima fase la resistenza rimane attiva fino quasi alla fine del risciacquo in quanto l’acqua viene scaldata ad una temperatura più elevata rispetto a quella di lavaggio per poter evaporare velocemente e lasciare le stoviglie più asciutte possibile.

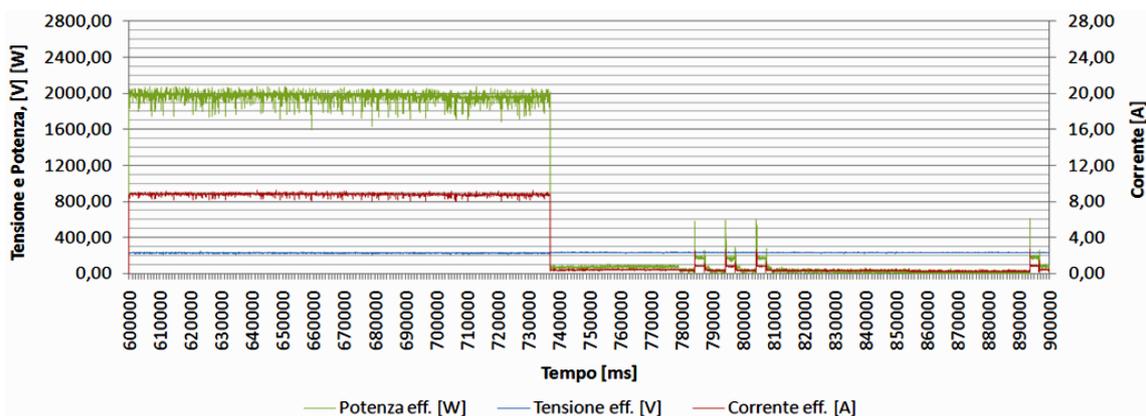


Figura 5.88 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 10° e il 15° minuto.

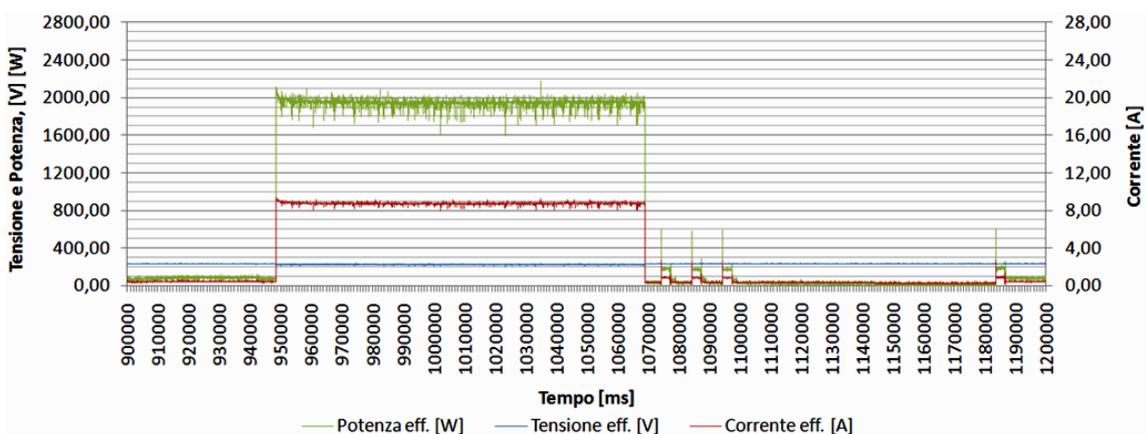


Figura 5.89 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 15° e il 20° minuto.

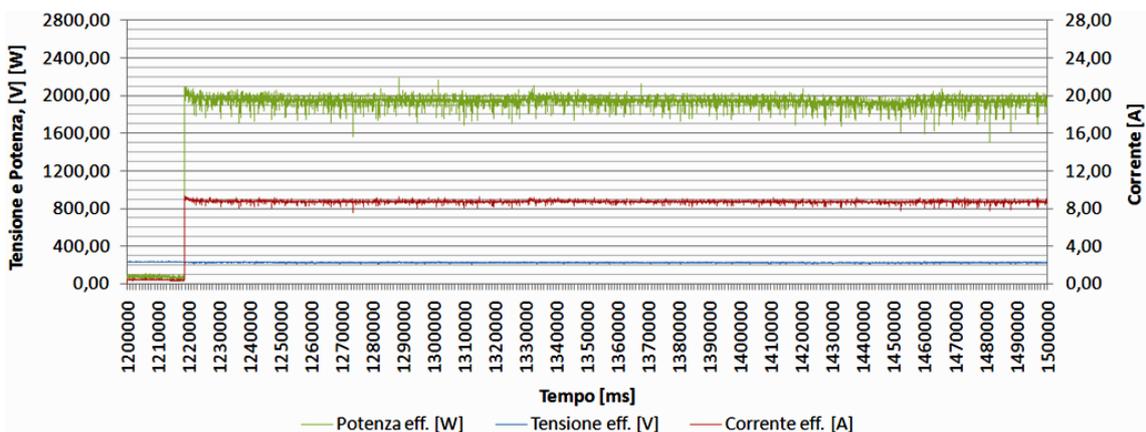


Figura 5.90 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 20° e il 25° minuto.

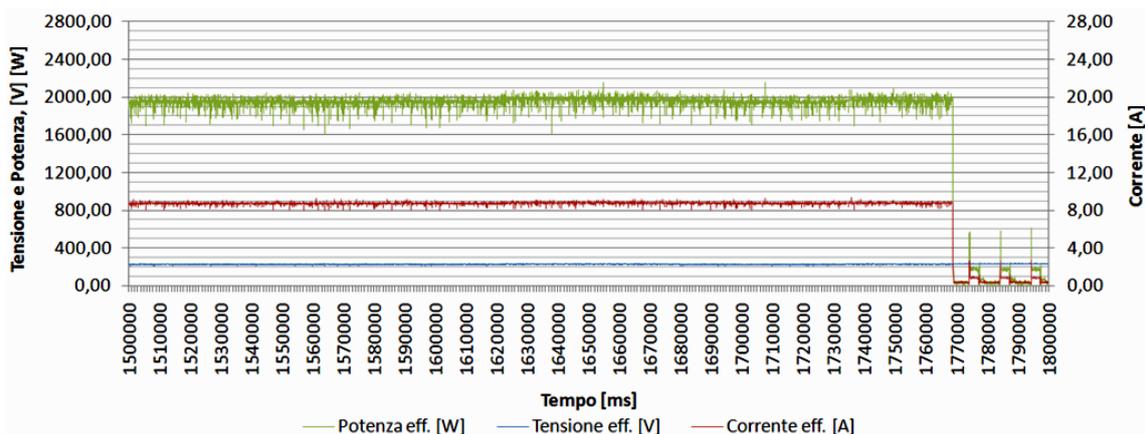


Figura 5.91 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 25° e il 25° minuto (fine ciclo).

Come è stato fatto per gli altri elettrodomestici, in *Tabella 5.17* sono riportati i consumi della lavastoviglie, sia a livello di ciclo complessivo sia per ogni fase distinta.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Carico 1	54	0,6	0,3	71,5	18,1	0,3
Lavaggio	725	9,6	7,5	2237,1	1685,5	339,4
Scarico1	25	2,7	0,5	598,9	94,4	0,7
Carico 2	84	0,5	0,3	74,8	20,2	0,5
Risciacquo 1	175	9,4	6,2	2182,1	1364,9	66,3
Scarico 2	30	2,7	0,5	599,4	83,7	0,7
Carico 3	84	0,5	0,3	65,7	20,3	0,5
Risciacquo 2	590	9,4	8,2	2188,3	1822,4	298,7
Scarico 3	26	2,7	0,5	616,4	92,5	0,7
Ciclo intero	1800	9,6	6,4	2237,1	1421	709,6

Tabella 5.17 – Tabella riassuntiva del consumo della lavastoviglie nelle varie fasi.

Il risultato del monitoraggio si discosta di poco (meno di 0,1 kWh) da quello dichiarato dal produttore; quindi, a partire da questo dato e ipotizzando circa 220 lavaggi come indicato nella scheda tecnica, possiamo anche stimare il consumo medio annuo utilizzando la lavastoviglie in modalità “rapida”: circa 156 kWh/anno, contro i 231 kWh/anno in modalità “Eco”.

5.10 Asciugatrice

L’asciugatrice, detta anche *dryer*, è un elettrodomestico pratico e utile, soprattutto quando si ha poco spazio e poco tempo per mettere ad asciugare la biancheria appena lavata, oppure per chi abita in città e non vuole esporre i panni bagnati allo smog. Essa infatti è in grado di asciugare, grazie a programmi con varie funzionalità, grandi quantità di biancheria in poco tempo. I modelli all’avanguardia, inoltre, asciugano il bucato senza lasciare pieghe, evitando quindi di stirare i capi.

L'asciugabiancheria si propone esteriormente come una lavatrice: ha un cestello, con carica frontale o dall'alto, dove inserire i capi lavati e già centrifugati (per non essere troppo bagnati).

Una volta caricata ed impostata, quindi, inizia il ciclo di asciugatura. Tramite una ventola, l'asciugabiancheria aspira l'aria dall'ambiente circostante, la fa passare su una resistenza in modo da riscaldarla e poi la immette nel cestello. Questo, a sua volta, si muove in modo alternato come quello della lavatrice per evitare che il suo contenuto si arrotoli o si riempia di pieghe. L'umidità, una volta assorbita, può essere espulsa all'esterno in due modi diversi:

- trasformata in acqua nei modelli a condensazione (i più diffusi): questi recuperano l'umidità condensata in una bacinella, che va poi svuotata manualmente o automaticamente in base al modello;
- sotto forma di aria calda non satura nei modelli a espulsione: in questo caso l'aria umida (ma non satura) viene eliminata direttamente all'esterno attraverso un tubo flessibile.

Nonostante la temperatura raggiunta nel cestello sia molto elevata (variabile da 60 a 75 °C circa), i vestiti non vengono affatto rovinati, al contrario, l'asciugatura effettuata con l'asciugabiancheria conferisce morbidezza, dissolvendo col calore gli elementi calcificanti contenuti nell'acqua e che la centrifuga riesce ad eliminare solo in parte.

Spostiamo ora l'attenzione al caso specifico monitorato. Si tratta di un apparecchio tutto sommato recente, in classe energetica C (ovvero le più diffuse assieme a quelli in classe B, mentre le asciugatrici in classe A sono ancora rare perché molto costose). È del tipo a condensazione e lo smaltimento dell'acqua estratta avviene a mano, svuotando l'apposita bacinella di raccolta una volta terminato il ciclo. In *Tabella 5.18* riportiamo i dati della targhetta energetica applicata all'involucro.

Marca e modello	Elettrozeta EasyDryer06
Alimentazione	220-230 V ~ 50 Hz
Potenza max	2000-2200 W
Classe energetica	C
Partenza ritardata	No
Tipo di espulsione	Condensatore d'aria
Carica	Frontale
Capacità	6 kg

Tabella 5.18 – Specifiche tecniche asciugatrice.

Per quanto riguarda il ciclo di asciugatura, esso si compone esclusivamente delle operazioni menzionate in precedenza, ovvero riscaldamento dell'aria tramite una resistenza, immissione nel cestello tramite una ventola e rotazione del cestello; poiché queste si ripetono per tutta la durata del programma, al fine di non essere ridondanti riportiamo solamente il primo e l'ultimo tratto da 5 minuti, rispettivamente in *Figura 5.92* e in *Figura 5.93*. In fase di analisi è stata impostata una durata di 60 minuti, su un massimo di 120, in relazione alla quantità di biancheria caricata (in media, per una famiglia di 4 persone sono sufficienti circa 80 minuti).

La fase che si ripete ciclicamente è quella che va dall'inizio a circa 3' 15" e comprende l'avvio contemporaneo della ventola e del cestello, che assieme hanno una potenza media di circa 200 W, seguito poco dopo dalla resistenza termica che, per differenza, dissipa una potenza di poco inferiore a 2000 W (per un totale di circa 2200 W, come indicato nei dati tecnici) con un calo di tensione di 5 V. Questa serie di operazioni si reitera invariata fino all'ultima ripetizione

(in questo caso gli ultimi 4-5 minuti), durante la quale l'aria insufflata non è più ulteriormente riscaldata; così facendo si risparmia una consistente quantità di energia elettrica in quanto si sfrutta anche il calore residuo della resistenza, che, nonostante sia sicuramente minore e progressivamente decrescente, è sufficiente a completare l'asciugatura della biancheria (che in questa fase sarà già quasi completamente asciutta).

Aumentando la scala di visualizzazione, in *Figura 5.94* e in *Figura 5.95* mostriamo rispettivamente l'avvio e la fine del primo ciclo di ventilazione: nelle immagini è facile identificare i motori del ventilatore e del cestello (sincronizzati) in quanto caratterizzati da uno spunto iniziale e una fase di regime successiva. Come per la lavatrice, lo spunto del motore di rotazione è un po' più lungo di quello di un motore a vuoto in quanto il peso dei capi umidi influisce significativamente sul movimento del cestello. Inoltre, essendo l'intero circuito composto per lo più da motori e resistenze, rispetto alle potenze in gioco, la forma d'onda della corrente è sempre sinusoidale e in fase con la tensione (*Figura 5.96* e *Figura 5.97*).

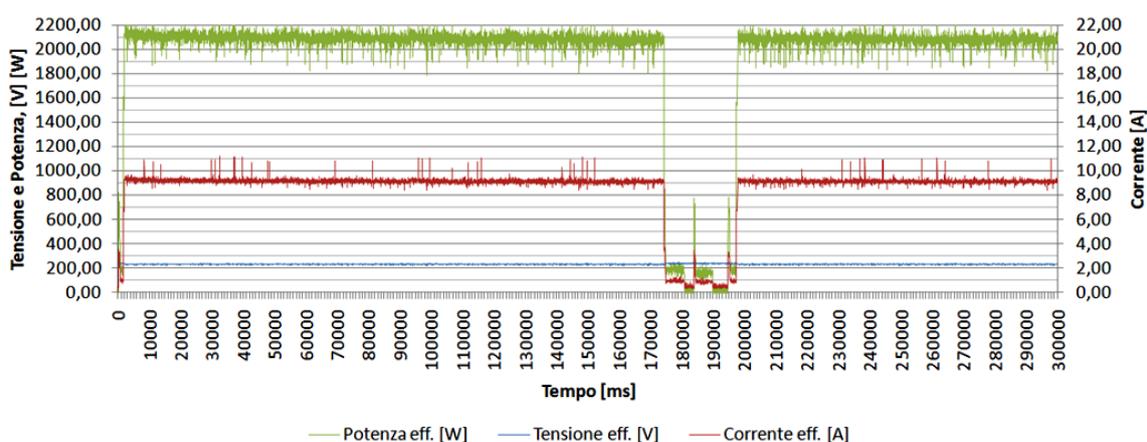


Figura 5.92 – Asciugatrice: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci nei primi 5 minuti.

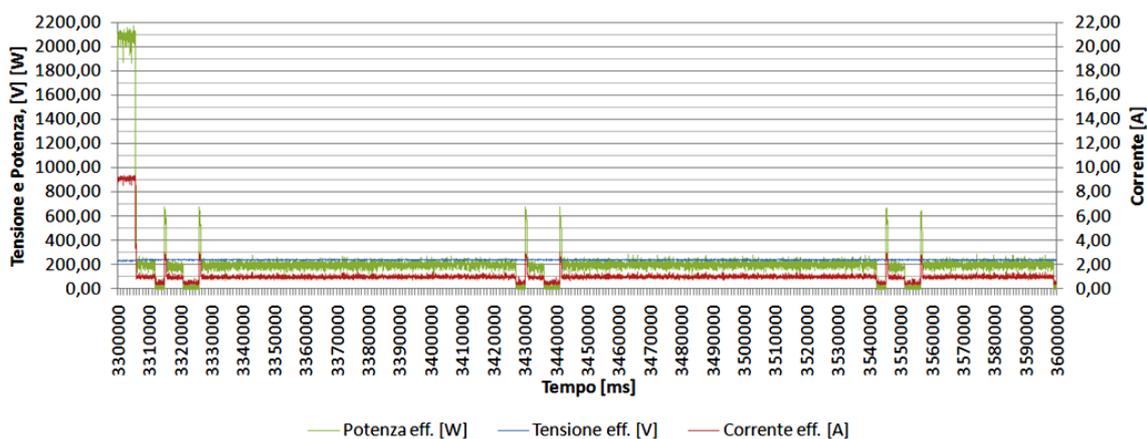


Figura 5.93 – Asciugatrice: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci negli ultimi 5 minuti.

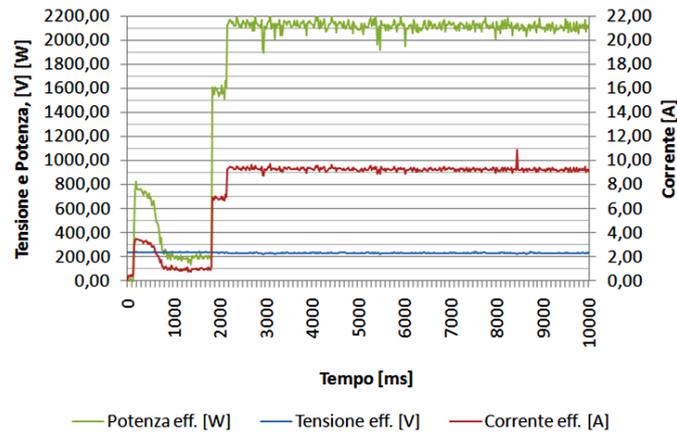


Figura 5.94 – Asciugatrice: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all'avvio.

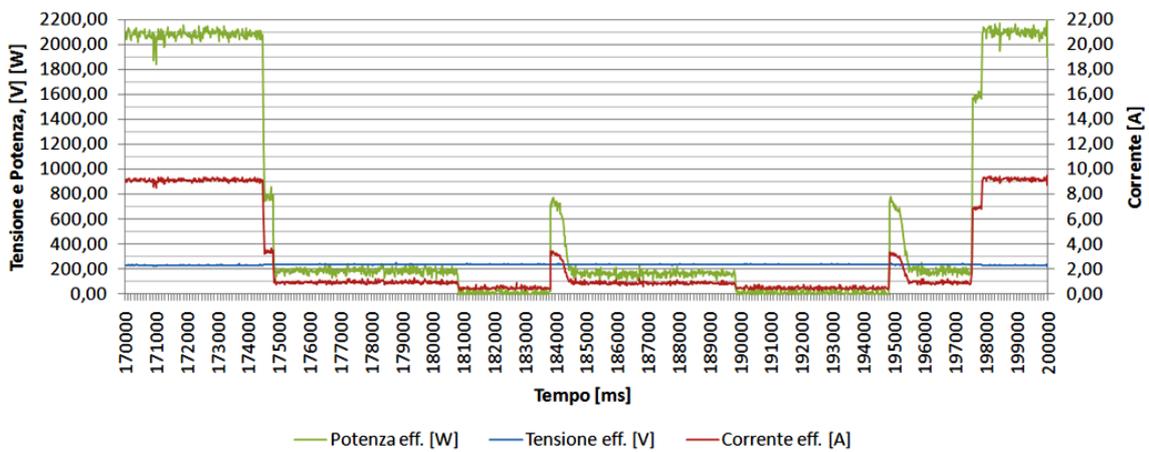


Figura 5.95 – Asciugatrice: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci alla fine della prima asciugatura.

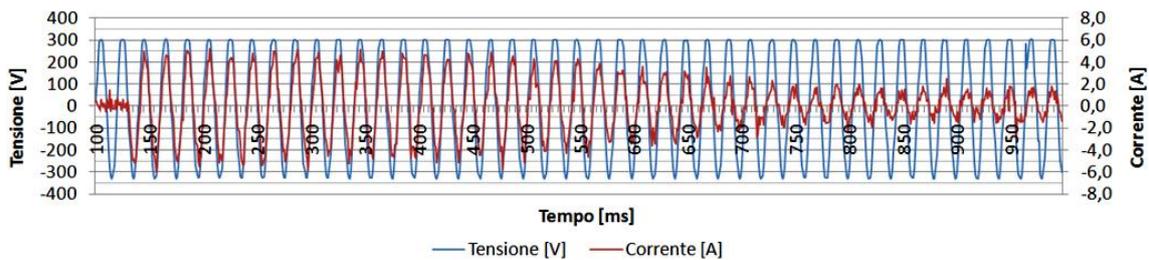


Figura 5.96 – Asciugatrice: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio.

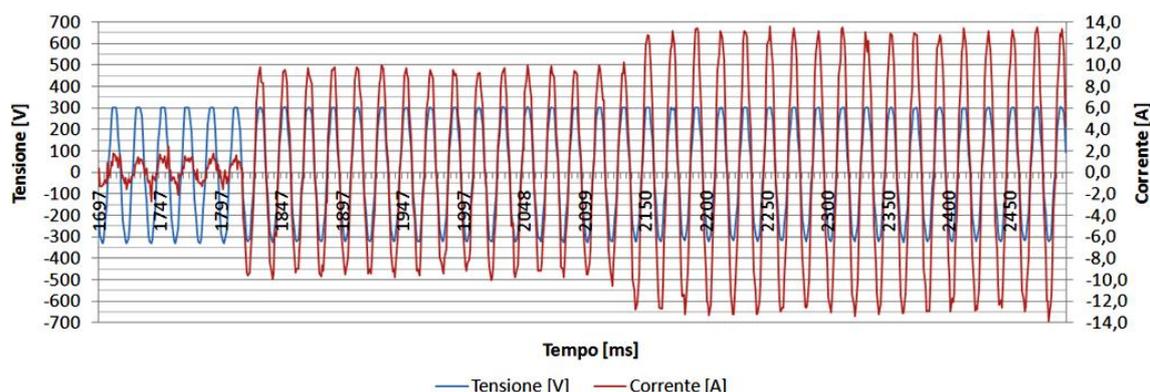


Figura 5.97 – Asciugatrice: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio della resistenza termica.

In Tabella 5.19 si riportano i consumi registrati per un ciclo di asciugatura di 60 minuti.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Asciugat. a caldo*	195	11,1	8,2	2294	1855	100,5
Asciugat. a caldo	3327	11,1	8,2	2294	1855	1714
Asciugat. a freddo	273	3,0	0,9	679	184	14
Ciclo intero	3600	11,1	7,6	2294	1728	1728

* Intesa come la sequenza base di operazioni di asciugatura, che si ripete più volte nel ciclo completo.

Tabella 5.19 – Tabella riassuntiva del consumo dell'asciugatrice nelle varie fasi.

5.11 Televisore a tubo catodico

Il televisore è uno strumento di intrattenimento domestico. Fatta eccezione per tutti gli altri metodi di svago che ognuno di noi può adottare, sicuramente il televisore è quello cui maggiormente si fa ricorso; si tratta infatti un contenitore di informazioni ad ampio raggio, dai telegiornali ai programmi sportivi, dai documentari naturalistici ai talk-show, in onda a qualsiasi ora su un vastissimo numero di canali. Nonostante da un po' di tempo il computer stia acquisendo sempre più importanza, la TV rimane di diritto la più familiare tra le due soluzioni, forte ultimamente della crescente diffusione delle soluzioni "all in one" che integrano TV e internet.

Di televisori ne sono stati creati di infiniti modelli, più o meno complessi, il più tradizionale dei quali risulta quello a tubo catodico (ormai soppiantato definitivamente da soluzioni più prestanti e meno ingombranti come gli schermi LCD, al plasma, o i più efficienti a LED). Nonostante i nuovi acquisti vertano esclusivamente su tecnologie più moderne, si è ritenuto opportuno includere nell'analisi anche un apparecchio di questo tipo, in quanto ancora molto diffuso e, grazie anche all'elevata durata, non ne ritiene opportuna una sostituzione se non in caso di guasto. Inoltre, a differenza di uno schermo LCD, il tubo catodico presenta delle problematiche elettriche aggiuntive legate all'accensione, quindi i ragionamenti portati avanti per questo tipo di televisori sono sicuramente validi anche per i televisori moderni.

Come il microonde e il frigorifero, anche questo apparecchio si basa su un principio di funzionamento di non immediata comprensione da chi non possiede le adeguate nozioni

tecniche. Per questo motivo cerchiamo di illustrare brevemente cosa si intende per “tubo catodico”.

Il catodo è un piccolo elemento metallico riscaldato fino a diventare incandescente che emette elettroni per effetto termoelettronico. All'interno del tubo catodico, in cui è stato praticato un vuoto spinto, questi elettroni vengono diretti in un fascio (di raggi catodici, appunto) per mezzo di una elevata differenza di potenziale elettrico tra catodo e anodo, con l'aiuto di altri campi elettrici o magnetici opportunamente disposti per focalizzare accuratamente il fascio. Il raggio, detto anche “pennello elettronico” viene deviato dall'azione di campi magnetici in modo da arrivare a colpire un punto qualunque sulla superficie interna dello schermo, ovvero l'anodo. Questa superficie è rivestita di materiale fluorescente (detti fosfori, in genere metalli di transizione oppure terre rare) che eccitato dall'energia degli elettroni emette luce.

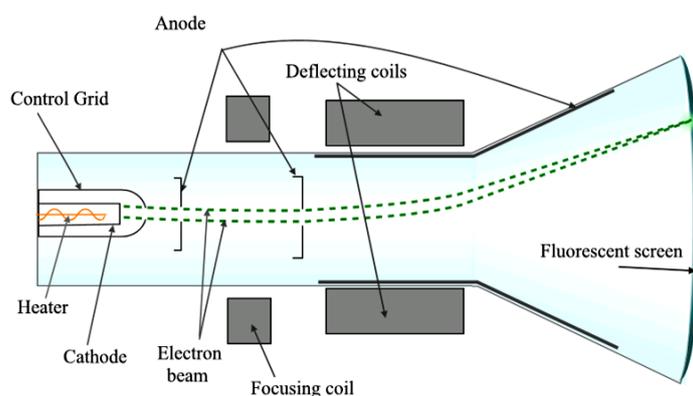


Figura 5.98 – Schema di funzionamento di un tubo a raggi catodici.

I tubi catodici a colori, in particolare, utilizzano differenti tipi di fosfori in grado di emettere i colori rosso, verde e blu. Questi fosfori sono facilmente visibili osservando uno schermo acceso da una distanza molto ravvicinata. Ci sono quindi tre catodi, con tre sistemi di focalizzazione (complessivamente detti cannoni elettronici), che generano un fascio per ciascun colore (in realtà i fasci sono invisibili, la corrispondenza con il colore dipende esclusivamente da quale fosforo viene colpito).

All'interno del tubo, a breve distanza dallo schermo è presente una maschera metallica forata in diversi modi, a seconda della tipologia, con la funzione di assorbire gli elettroni che non siano sulla traiettoria esatta per raggiungere il fosforo corretto e che causerebbero altrimenti confusione nei colori visualizzati. L'impatto degli elettroni con la maschera metallica produce una piccola quantità di raggi X, per questo motivo la parte frontale del tubo è realizzata in vetro al piombo in modo da lasciarsi attraversare dalla luce dell'immagine ma non dai raggi X.

Per evitare di compromettere le prestazioni di uno schermo del genere bisogna prendere in ogni caso alcuni accorgimenti; poiché gli elettroni vengono deviati dal campo magnetico, si deve infatti evitare di avvicinare magneti (come ad esempio gli altoparlanti) ad uno schermo, in quanto provocherebbero la magnetizzazione della maschera e quindi la rappresentazione errata o distorta dei colori e delle figure. Tale fenomeno permane anche dopo la rimozione del magnete e la correzione potrebbe diventare difficoltosa. Per risolvere questo inconveniente, i moderni televisori e anche alcuni monitor di computer implementano una speciale bobina di smagnetizzazione che, all'accensione dell'apparecchio, produce un breve ma intenso campo

magnetico con andamento sinusoidale smorzato, a partire dalla frequenza a 50 Hz della rete elettrica. Questo campo variabile può eliminare una modesta magnetizzazione residua.

Ora che abbiamo chiarito questi concetti passiamo al caso specifico. Il televisore monitorato è un modello a tubo catodico del 2001, le cui caratteristiche tecniche sono riportate in *Tabella 5.20*. Si tratta di un TV-color di 21" dotato di videoregistratore VHS integrato con una serie di funzioni automatiche per la registrazione e riproduzione di videocassette, oltre che un temporizzatore per l'accensione e lo spegnimento automatici (intendendo l'apparecchio acceso se in funzione normalmente e spento se in standby).

Marca e modello	Sony FD Trinitron KV-21FV1E
Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Uscita audio	Mono, 3 W RMS (max 6 W)
Consumo max di energia	85 W
Consumo max di energia in standby	2 W
Dimensioni (L x H x P)	489 x 500 x 477 mm

Tabella 5.20 – Specifiche tecniche TV-color.



Figura 5.99 – Immagine del modello di televisore monitorato.

In *Figura 5.100* è visualizzato il profilo di consumo del televisore in termini di potenza media e tensione e corrente efficaci (riprodotto in valori istantanei alla *Figura 5.101*). L'intero andamento è suddivisibile in un numero definito di zone separate da eventi precisi e ricorrenti, propri di un televisore di questo tipo. Il primo tratto indica la situazione di standby (vedi dettaglio in *Figura 5.102*), quella in cui praticamente il televisore non è attivo ma non è neanche completamente spento: in questa fase si ha comunque un consumo di energia, seppur minimo, provocato dalla corrente necessaria a mantenere alcuni circuiti interni in tensione e ad alimentare la spia di indicazione dello stato. Il primo picco che si incontra rappresenta il "click" dell'accensione vera e propria (situazione che si presenta allo stesso modo sia premendo il pulsante sul televisore sia usando il telecomando), in cui nell'arco di 2-3 ms si ha un forte aumento e diminuzione della corrente (oltre 4 A) e un conseguente sbalzo di potenza fino a circa 5 volte quella dissipata a regime. A seguito del "click", dopo circa 0,2 s

avviene la smagnetizzazione, che si comporta esattamente come descritto ed è osservabile in *Figura 5.103*; questo evento è piuttosto drastico in termini energetici, in quanto in brevissimo tempo si passa da un valore di una decina di Watt fino a circa 1300 W. Questa fase dura circa mezzo secondo, dopodiché, eliminato ogni magnetismo residuo, l'immagine viene finalmente proiettata sullo schermo e l'assorbimento si stabilizza progressivamente al valore di regime, come visualizzato in *Figura 5.104*; a seguito di varie sperimentazioni è stato appurato che, una volta a regime, il funzionamento rimane praticamente costante e non influenzato in maniera sensibile dalla variazione di volume o intensità luminosa.

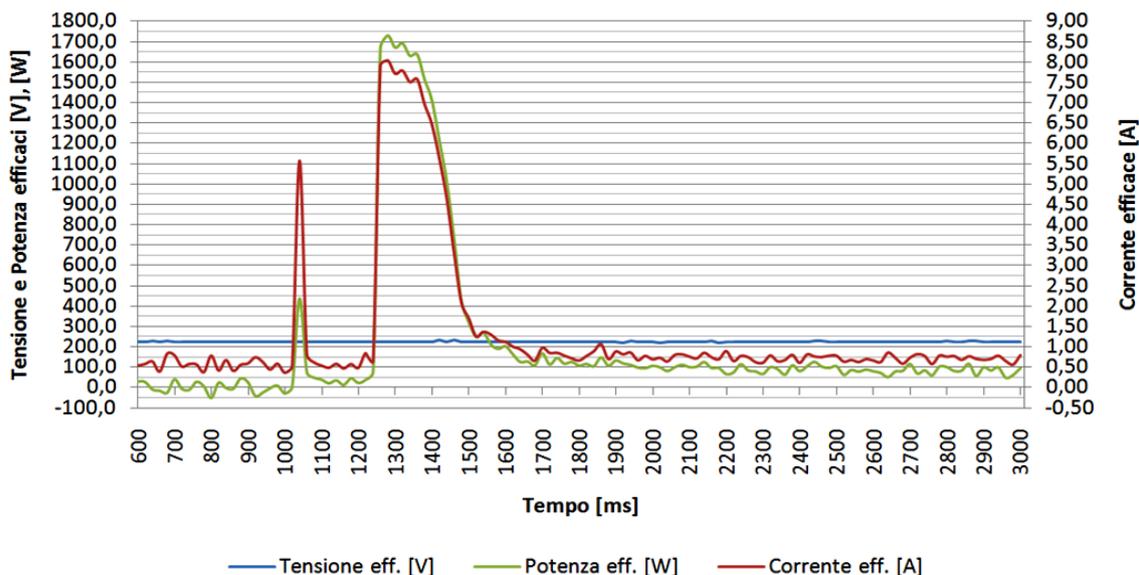


Figura 5.100 – TV: andamento globale di potenza media e tensione e corrente efficaci.

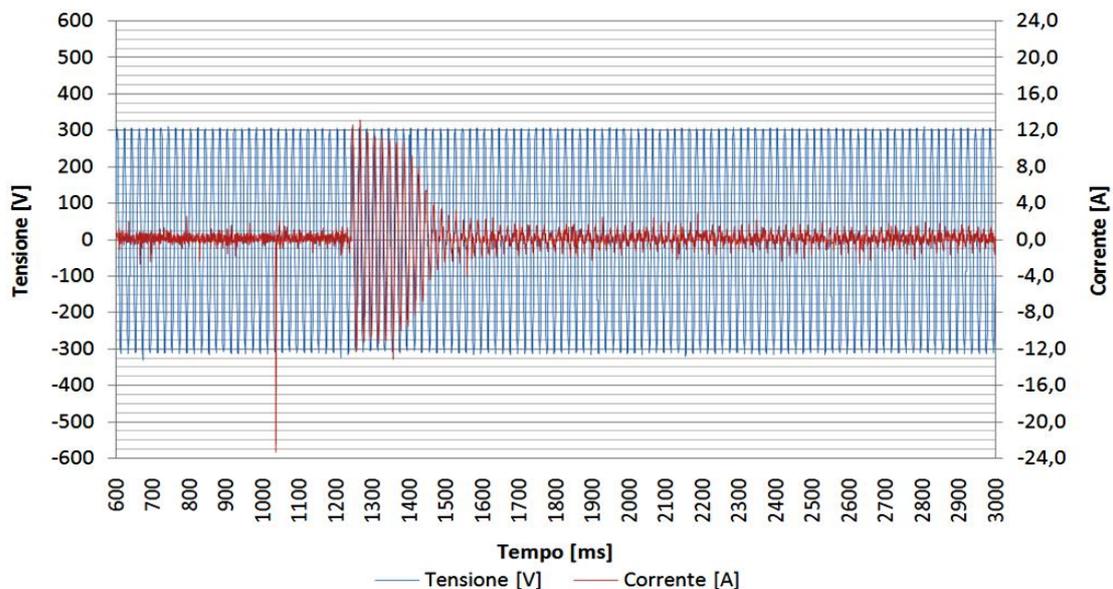


Figura 5.101 – TV: andamento globale di tensione e corrente istantanei.

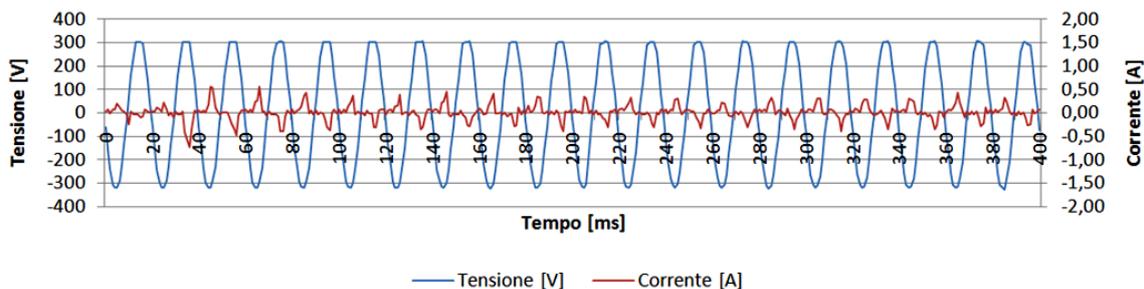


Figura 5.102 – TV: andamento di tensione e corrente istantanei in modalità standby.

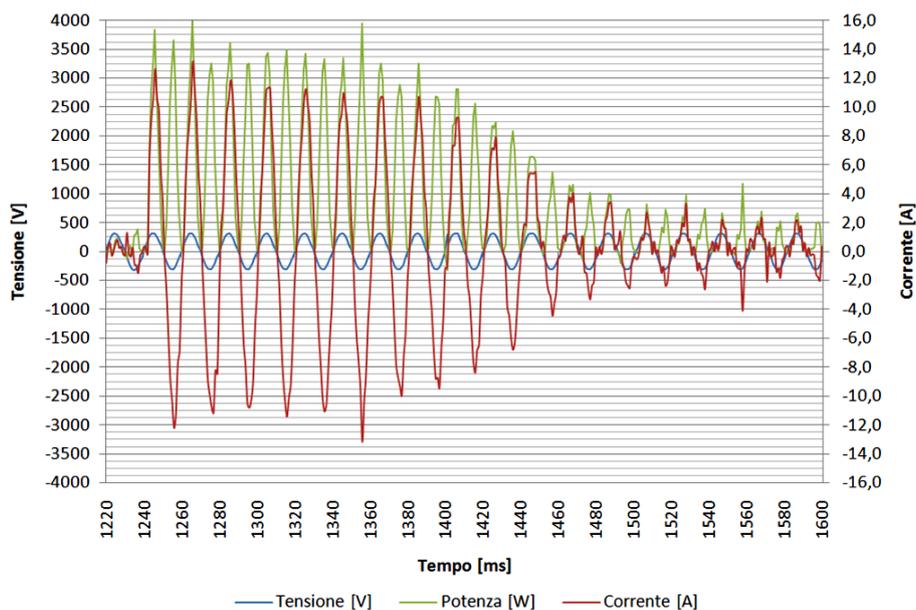


Figura 5.103 – TV: andamento di tensione, potenza e corrente istantanei all'avvio.

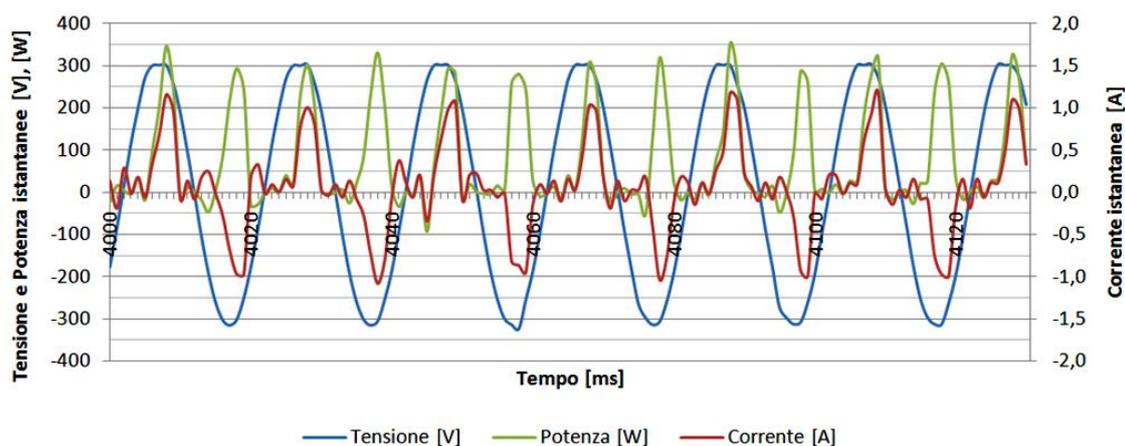


Figura 5.104 – TV: andamento di tensione e corrente istantanei a regime.

Una cosa che salta all'occhio guardando l'andamento della corrente sia in standby sia a regime è che essa non ha un andamento sinusoidale. Questo particolare profilo è caratteristico

di un ponte a diodi,⁴⁴ il cui schema è riportato in *Figura 5.105*: un diodo conduce corrente solo quando la tensione di rete è maggiore o uguale alla tensione di lavoro, e solo quando il verso della corrente è concorde con quello della polarizzazione cui è stato sottoposto. Così facendo, con un diodo solo si avrebbero dei picchi o solo di corrente positiva o solo negativa, mentre un ponte a diodi è una suddivisione in due rami, con diodi polarizzati in maniera opposta, in modo da avere conduzione in entrambi i versi. Il risultato di ciò è quindi una forma distorta della corrente, dovuta alla creazione di armoniche.

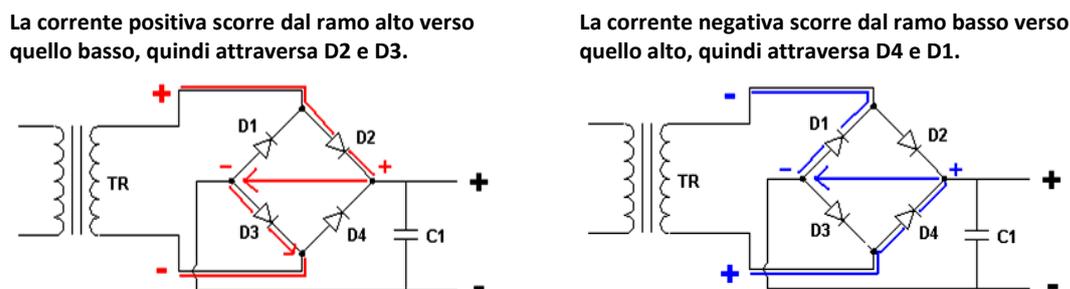


Figura 5.105 – Schema elettrico di un ponte a diodi (ponte di Graetz) con condensatore stabilizzante.

Ora vediamo di quantificare il consumo reale del televisore durante il funzionamento monitorato.

FASE	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Standby (1 h)	0,01	0,01	2	2	2
Avvio (1 s)	8,0	2,2	1729,8	428,9	0,12
A regime (1 h)	0,6	0,5	101,6	83,3	83,3

Tabella 5.21 – Tabella riassuntiva del consumo del televisore.

5.12 Notebook

Trattiamo ora un altro apparecchio dedicato utile sia per l'intrattenimento sia come strumento di lavoro per molte persone: il notebook, o più genericamente chiamato "computer portatile". Come il nome lascia intendere, le caratteristiche che lo contraddistinguono dai modelli fissi sono la mobilità e la trasportabilità, ovvero può essere comodamente infilato in una borsa e usato anche lontano dalla propria abitazione o dal luogo di lavoro.

Si è scelto di monitorare questo tipo di dispositivo perché ormai, in un ambiente domestico in cui vi sia un computer solo, è più probabile trovarne uno portatile piuttosto che uno fisso (desktop); il primo, infatti, è decisamente più comodo e meno ingombrante, inoltre i modelli recenti raggiungono prestazioni molto elevate e abbondantemente sufficienti a soddisfare le esigenze quotidiane (applicazioni private, svago, multimedialità). Un computer di questo tipo, ovviamente, non raggiunge le stesse prestazioni di un desktop, e di conseguenza neanche i

⁴⁴ La spiegazione dettagliata del diodo la si può trovare al paragrafo 5.15.3, all'interno della trattazione delle sorgenti luminose a LED.

consumi, tuttavia costituisce ugualmente una fonte di dispendio energetico da non sottovalutare, in considerazione soprattutto della sua diffusione e dell'utilizzo che se ne fa (infatti un desktop è utilizzato solo se si è nella postazione stabilita, vincolo che un notebook non presenta). A livello di assorbimento di corrente, per ogni tipo di computer vale il discorso della componentistica interna: il consumo complessivo varia in base al quello specifico dei singoli elementi hardware, e quindi a prestazioni maggiori corrisponde un consumo maggiore (perciò i computer portatili consumano meno dei desktop). In particolare, i componenti più energivori sono: il processore, la ventola di raffreddamento della scheda madre, la scheda video e la scheda di rete Wi-Fi (che però in un fisso non c'è); anche se potrebbe sembrare diversamente, l'incidenza di quest'ultimo componente non è assolutamente trascurabile, a la differenza si nota particolarmente quando si lavora esclusivamente a batteria.

Vediamo ora di presentare l'oggetto dell'analisi. Il notebook in questione è un modello non recente, ma neanche particolarmente obsoleto (ha circa 6 anni, che per un apparecchio informatico sono parecchi), di prestazioni mediocri se confrontate con quelle proposte dai modelli più recenti. Di seguito, in *Tabella 5.22* elenchiamo le caratteristiche dell'hardware del sistema, ovvero quelle importanti per l'aspetto energetico.

Marca e modello	Acer Aspire 5720G
Trasformatore	Input: 100-240 V ~ 50/60 Hz – 1,5 A - Output: 19 V DC – 4,74 A (90 W)
Batteria	6 celle agli ioni di litio – 11,1 V DC – 4000 mAh – 44 Wh
Dimensioni (L x H x P)	366 x 43 x 274 mm
Processore (Dual Core)	Intel® Core™ 2 Duo T5250 @ 1.5 GHz
RAM	2 GB (espandibile a 4 GB) - DDR II SDRAM
Disco rigido	160 GB – Serial ATA-150 – 5400 rpm
Memorizzazione ottica	DVD±RW (+R due livelli) / DVD-RAM – integrata
Interfacce connessione	4 x Hi-Speed USB Tipo A 4 pin; 1 x IEEE 1394 (FireWire); 1 x ad infrarossi – IrDA; 1 x display / video - VGA - D-Sub HD 15 pin (HD-15); 1 x display / video - Uscita S-video; 1 x Audio - uscita SPDIF/cuffie/uscita linea - jack stereo da 3,5 mm; 1 x microfono - input - jack da 3,5 mm; 1 x Audio - line-In - jack da 3,5 mm; 1 x rete - Ethernet 10Base-T/100Base-TX/1000Base-T - RJ-45; 1 x modem - linea telefonica - RJ-11
Schermo	15,4" TFT – 24 bit (16,7 milioni di colori) – risoluzione max 1280x800
Scheda video	NVIDIA GeForce 8400M GS – 256 MB dedicati – fino a 1 GB condivisi
Scheda audio	Realtek High Definition Audio
Modem interno	HDAUDIO Soft Data Fax Modem with SmartCP – 56 kbps
Scheda di rete Ethernet	Broadcom NetLink (TM) Gigabit Ethernet
Scheda LAN Wireless	Intel® PRO/Wireless 3945ABG – conforme agli standard IEEE 802.11b/a/g, Wi-Fi

Tabella 5.22 – Specifiche tecniche notebook.



Figura 5.106 – Immagine del modello di notebook monitorato.

Poiché come già detto è difficile definire un utilizzo “standard” di un computer, durante il monitoraggio eseguito si è pensato di generare un profilo di consumo sufficientemente vario in modo da avere un’idea del consumo massimo, di quello minimo e di un valore medio il più rappresentativo possibile di un utilizzo quotidiano. Va premesso che nel computer analizzato in questa sede sono installati opportuni software per la gestione dei processi interni e sono stati selezionati i programmi da eseguire all’avvio del computer, in modo da mantenere costantemente ottimizzato il funzionamento e quindi il consumo elettrico (particolarmente delle ventole di raffreddamento).

A questo scopo, una volta acceso l’apparecchio, la modalità di risparmio energetico è stata settata sulle massime prestazioni (luminosità massima dello schermo, frequenza massima del processore, disattivazione del passaggio automatico alla modalità standby e scheda Wi-Fi attivata), poiché tendenzialmente questa è la modalità con cui si opera quando si ha sempre a disposizione una presa di corrente per ricaricare la batteria (o per lavorare direttamente collegati alla rete elettrica estraendo la batteria, come è stato fatto in questo caso); è stato fatto quindi funzionare per qualche minuto. In seguito, senza spegnerlo, è stato modificato il profilo di risparmio energetico e impostato in “bilanciato”, ovvero un settaggio intermedio tra elevate prestazioni e minimo consumo energetico, e sono stati aperti alcuni programmi di medio peso (inteso come memoria richiesta) assieme alla riproduzione di un CD audio, in modo da sfruttare una consistente quota della CPU simulando così un utilizzo medio.

Come si può vedere dal grafico in *Figura 5.107*, l’assorbimento massimo continuativo del notebook è di circa 60 W e si registra in fase di accensione. Di picchi di corrente che si possano definire tali, invece, ce n’è solamente uno proprio all’inizio, nel momento in cui parte il meccanismo di lettura dell’hard disk; in questo istante, lo scatto della puntina di lettura fa salire la potenza fino a quasi 140 W.

Per il resto si nota come il consumo durante l’uso sia molto inferiore alla portata reale del trasformatore, proprio per evitare di sottoporlo per lunghi periodi alla corrente massima col rischio di surriscaldare i componenti interni. Infatti, una volta caricati il sistema operativo e le applicazioni necessarie, l’assorbimento elettrico scende pressappoco a 30 W, salendo solo ogni tanto quando interviene la ventola (che con i suoi 20 W circa costituisce l’assorbimento singolo

più consistente, mentre gran parte della parte restante è da attribuirsi all'illuminazione dello schermo).

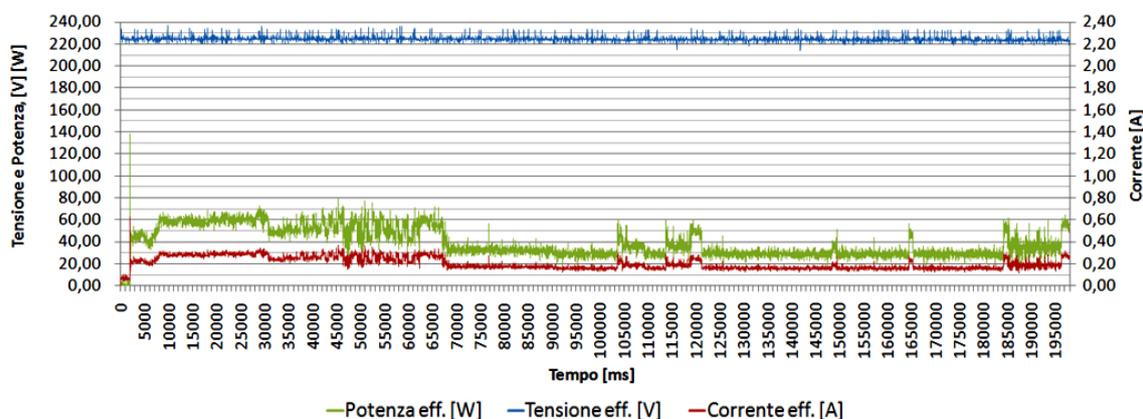


Figura 5.107 – Notebook: andamento globale di potenza media e tensione e corrente efficaci.

Per capire invece quale forma abbia la corrente assorbita si fa riferimento al profilo in *Figura 5.108*. Nel diagramma si vede bene la fase a cavallo dell'accensione: i piccoli impulsi di corrente visibili tra i 1850 ms e i 1900 ms rappresentano la pressione del tasto di avvio e pochi istanti dopo si verifica l'attivazione dell'hard disk; dopodiché la potenza raggiunge rapidamente il valore di regime nella fase di caricamento del sistema operativo. In questa fase, come per tutto il funzionamento successivo, si può osservare che la corrente ha un andamento simile a quello visto per il televisore, il che testimonia anche in questo caso la presenza di un ponte a diodi (molto frequente nelle apparecchiature elettroniche) con conseguente assorbimento di più armoniche.

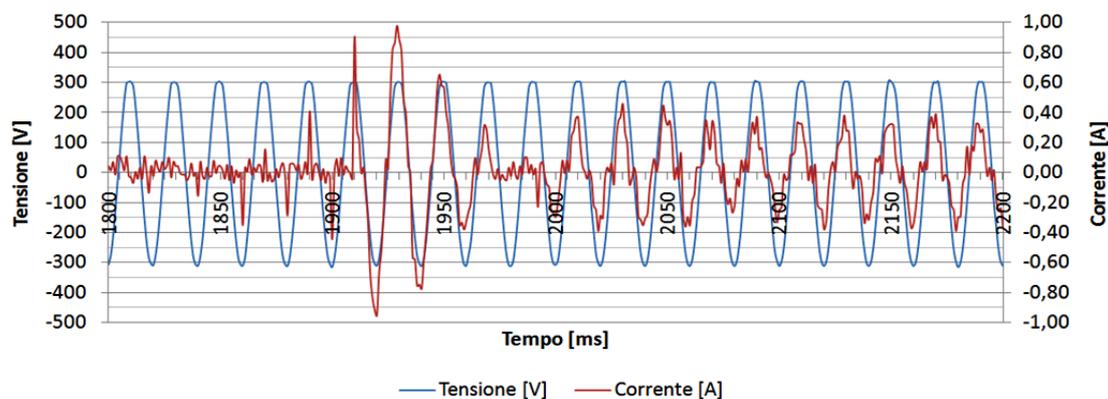


Figura 5.108 – Notebook: andamento di tensione, potenza e corrente istantanee all'avvio.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Lettura HD	0,1	0,6	0,3	138,5	64,5	-
Avvio OS*	65	0,4	0,3	80,1	54,1	1
A regime**	3600	0,3	0,2	64,4	31,9	31,9

* Operative System. È compreso il caricamento di tutte le applicazioni essenziali.
** Considerando un utilizzo di un'ora, con un certo numero di programmi in esecuzione e con l'intervento casuale della ventola.

Tabella 5.23 – Tabella riassuntiva del consumo del televisore.

5.13 Phon

Nonostante sia un elettrodomestico ad uso molto soggettivo, il phon è comunque presente in ogni famiglia ed utilizzato molto frequentemente, non solo per la messa in piega da parte delle donne ma anche semplicemente per una rapida asciugatura dei capelli dopo la doccia. Per questo motivo e per il fatto che rappresenta un assorbimento elettrico considerevole si è ritenuto opportuno farlo rientrare nella campagna di misura, poiché non è raro che proprio l'attivazione di questo apparecchio in concomitanza con il funzionamento di altri carichi (magari il forno o la lavatrice) crei degli assorbimenti elettrici eccessivi causanti il distacco dell'alimentazione generale. Nell'abitazione in questione sono presenti più di un modello di phon, di età diverse, ma si è scelto di monitorare quello più vecchio in quanto dotato di un maggior numero di combinazioni di funzionamento. Purtroppo, a causa proprio dell'età dell'oggetto, non è stato possibile reperire informazioni dettagliate in merito al consumo, ma si conoscono solo le caratteristiche di targa essenziali di *Tabella 5.24*. Per quanto riguarda i parametri in ogni modalità, quindi, ci affideremo esclusivamente ai risultati dell'indagine.

Marca e modello	Mistral 1500 Super Turbo
Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Potenza massima	1400 W

Tabella 5.24 – Specifiche tecniche phon.



Figura 5.109 – Foto del phon monitorato.

Il funzionamento di un phon è davvero molto semplice, infatti esso è costituito da una resistenza (una spirale avvolta nuovamente a spirale all'interno del tubo erogatore) necessaria a scaldare l'aria che poi una ventola soffia in direzione del bocchettone di uscita. La temperatura è regolabile su tre livelli e la differenza sta semplicemente nella variazione della quantità di corrente assorbita (al primo livello l'aria è a temperatura ambiente), mentre le velocità disponibili per il movimento della ventola sono due e regolate azionando o meno un diodo: facendo condurre infatti solo una delle due semionde per la velocità minima, dai grafici si può verificare che, a parità di temperatura, la corrente è praticamente la metà rispetto alla velocità massima. A questa breve spiegazione facciamo seguire i dati rilevati: per ogni modalità

riportiamo sia il profilo dei valori medi o efficaci sia l'andamento di tensione e corrente istantanee, in modo da avallare i discorsi appena fatti.

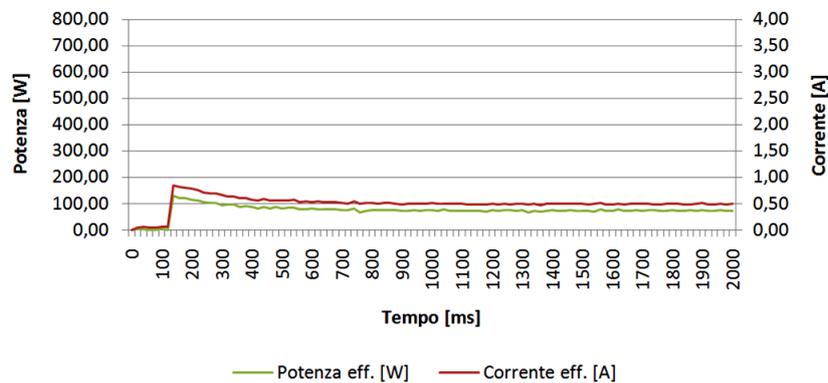


Figura 5.110 – Phon: andamento di potenza media e corrente efficaci alla temperatura 1 e alla velocità 1.

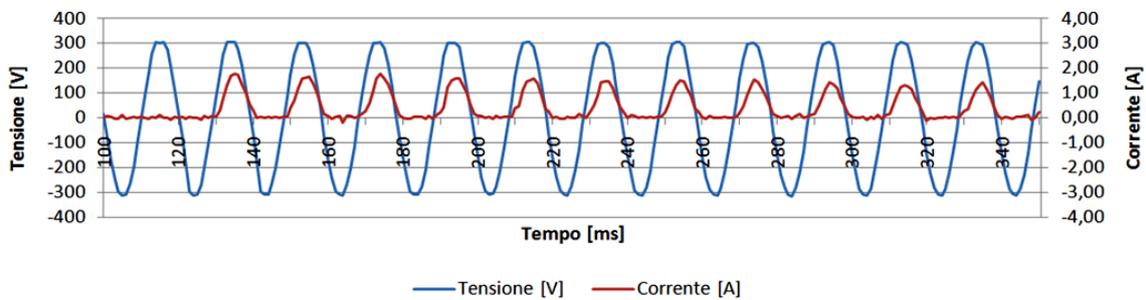


Figura 5.111 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 1 e alla velocità 1.

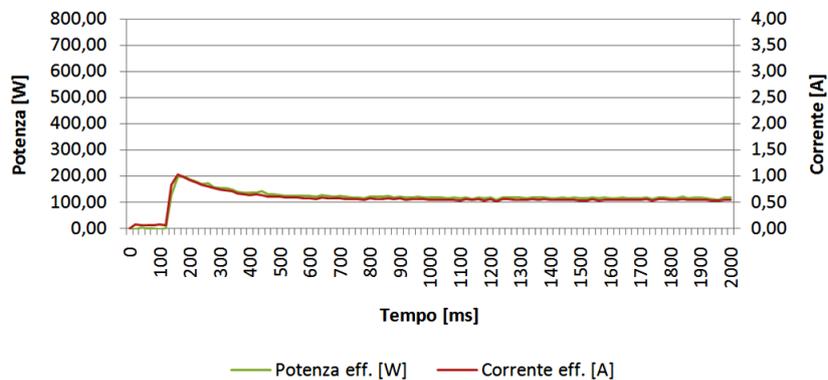


Figura 5.112 – Phon: andamento di potenza media e corrente efficace alla temperatura 1 e alla velocità 2.

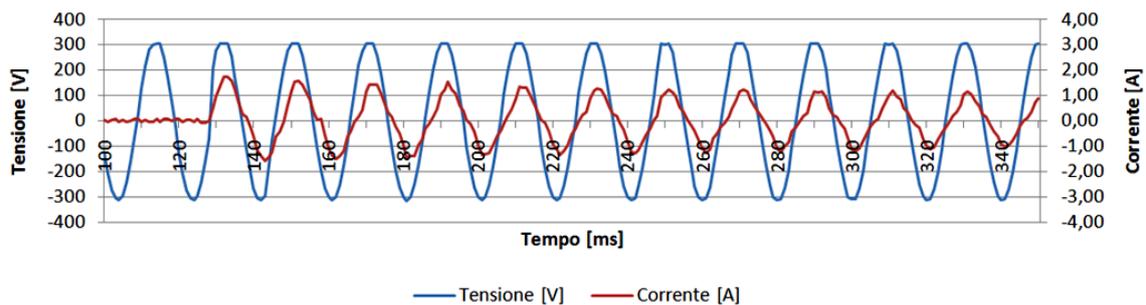


Figura 5.113 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 1 e alla velocità 2.

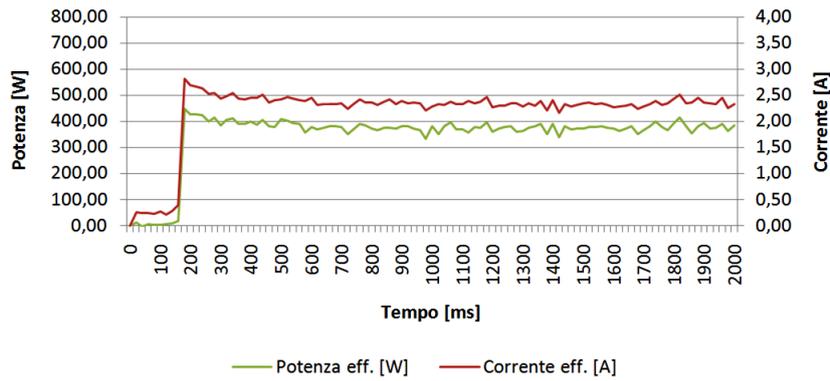


Figura 5.114 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 2 e alla velocità 1.

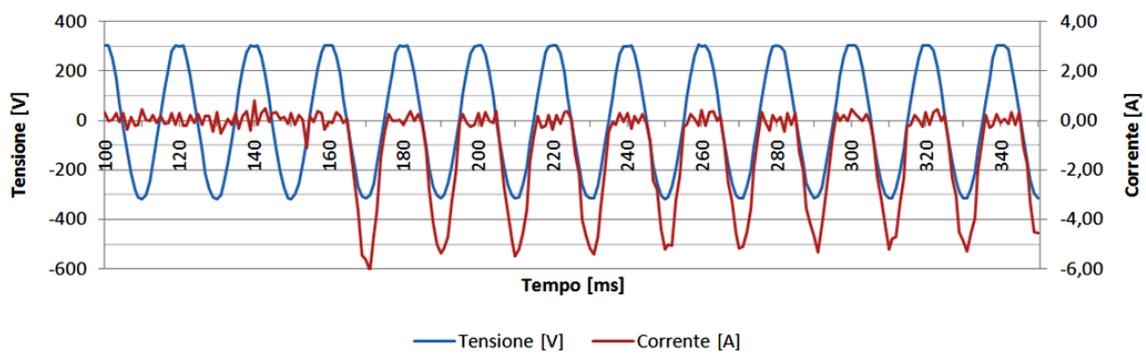


Figura 5.115 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 2 e alla velocità 1.

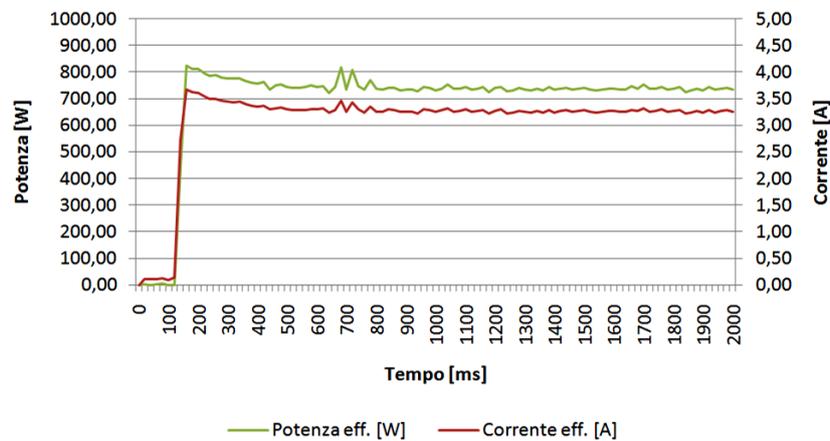


Figura 5.116 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 2 e alla velocità 2.

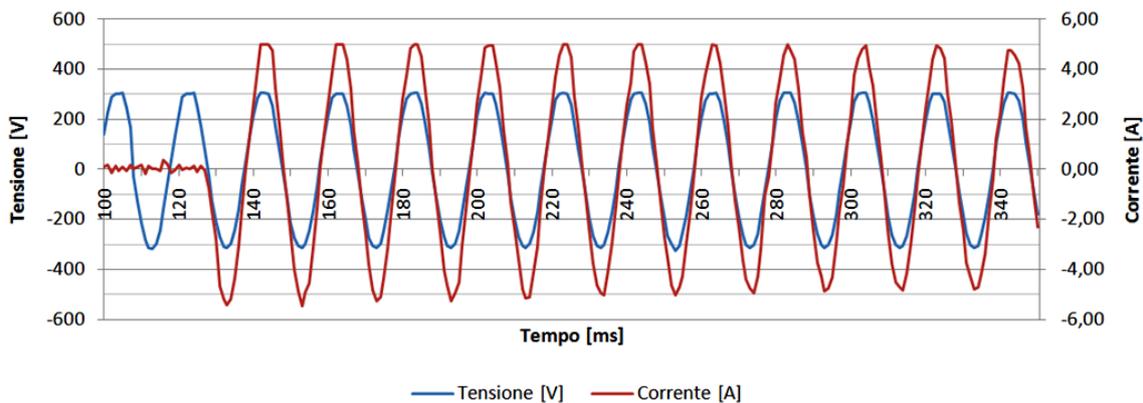


Figura 5.117 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 2 e alla velocità 2.

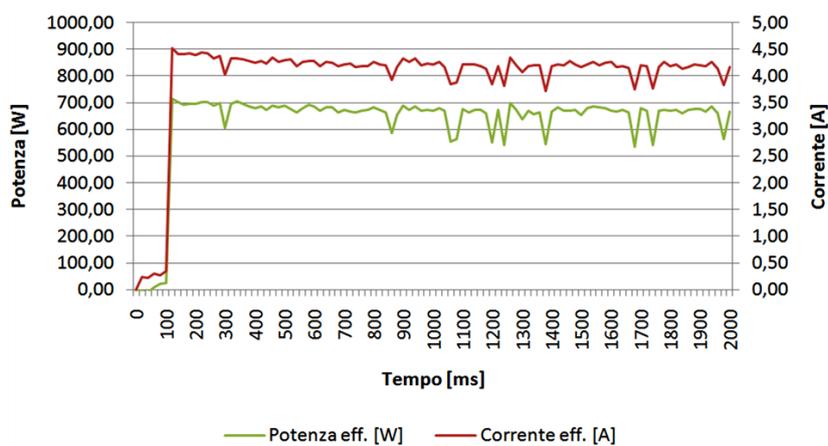


Figura 5.118 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 3 e alla velocità 1.

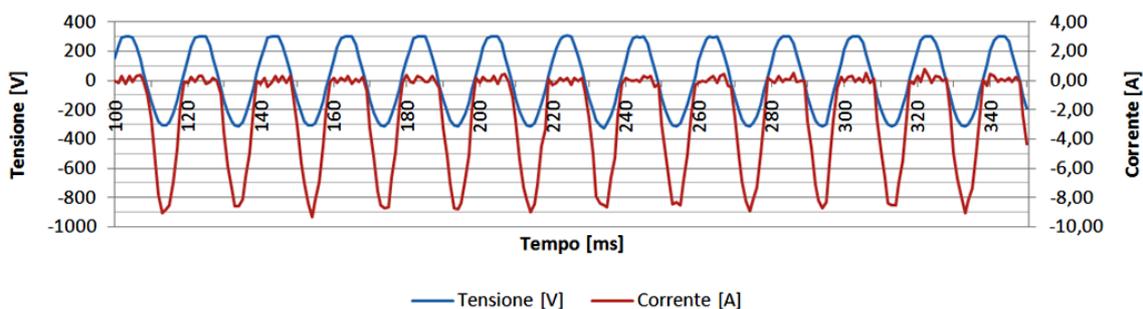


Figura 5.119 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 3 e alla velocità 1.

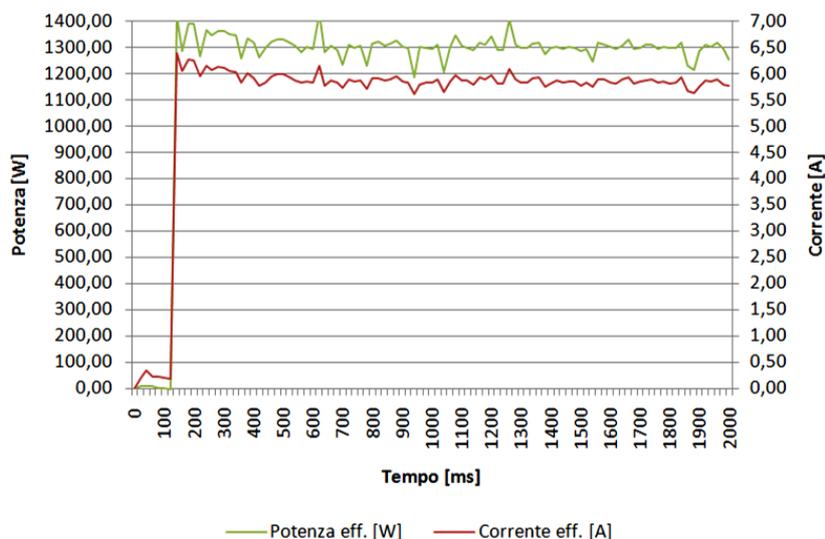


Figura 5.120 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 3 e alla velocità 2.

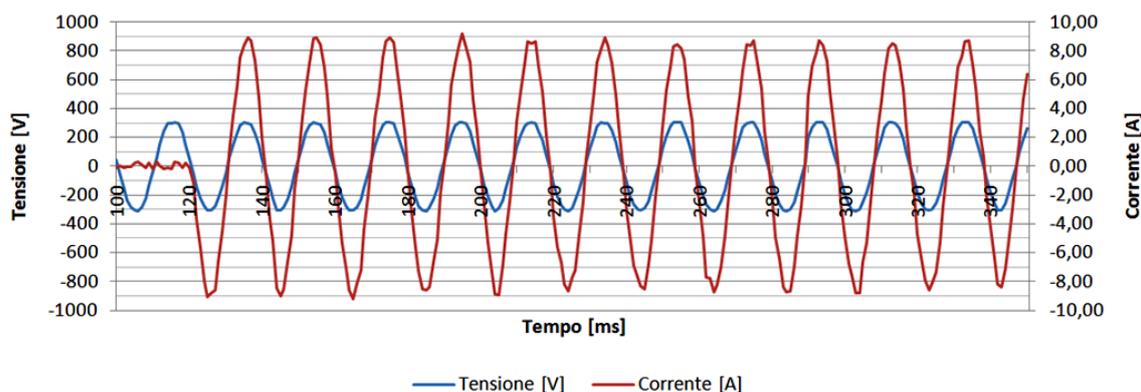


Figura 5.121 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 3 e alla velocità 2.

I grafici relativi a questo apparecchio parlano in maniera abbastanza chiara: innanzitutto la forma d'onda della corrente è di tipo sinusoidale, poi, a parte il funzionamento a temperatura ambiente, in cui si ha un leggero ritardo della corrente rispetto alla tensione, negli altri casi si ha un andamento praticamente in fase. Questo vuol dire che il circuito in sé è di tipo resistivo-induttivo, vista la presenza di un seppur piccolo motore, ma la parte resistiva è nettamente preponderante. Tale affermazione è verificabile osservando due aspetti: il primo è rappresentato dalla qualità dell'alimentazione, infatti a partire dal secondo stadio di temperatura, ovvero quando viene sollecitata la resistenza "termica", lo sfasamento tensione-corrente è già annullato; il secondo è di tipo puramente quantitativo, ovvero l'assorbimento registrato con la sola ventola in funzione (intesa sempre alla velocità massima) è di circa 0,5 A, mentre sale notevolmente a 3,3 A alla temperatura intermedia e a 5,8 A impostando la temperatura massima. A questo punto, la caratterizzazione del phon permette di dire che la potenza di funzionamento è praticamente costante, a meno di un leggero picco iniziale dovuto all'inevitabile spunto della ventola; vediamo quindi ora di riassumere le caratteristiche energetiche misurate nella *Tabella 5.25*, analoga a quella vista per gli altri apparecchi.

MODALITA'	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO AL MINUTO [Wh]
Temp.1 – Vel.1	0,9	0,5	129,8	73,0	1,2
Temp.1 – Vel.2	1,0	0,5	198,9	116,0	1,9
Temp.2 – Vel.1	2,8	2,3	448,8	375,0	6,3
Temp.2 – Vel.2	3,7	3,3	825,0	737,0	12,3
Temp.3 – Vel.1	4,5	4,1	715,7	653,0	10,9
Temp.3 – Vel.2	6,4	5,8	1416,2	1295,0	21,6

Tabella 5.25 – Tabella riassuntiva del consumo del phon.

5.14 Stampante da ufficio

Il secondo apparecchio elettrico di una certa mole facente parte della dotazione standard di un ufficio è senz'altro la stampante (a volte con anche la funzione di fotocopiatrice, ma per le fotocopie è più frequente avere un apparecchio unico di elevate prestazioni condiviso da più utenze). Si tratta sostanzialmente di una periferica collegabile al computer che si attiva nel momento in cui sia necessario trasferire dei files su carta, tuttavia questa operazione elementare può essere svolta sfruttando svariate tecnologie. Esistono infatti molti tipi di stampanti, alcuni più datati come quelle ad aghi fino ad arrivare a quelle a getto di inchiostro o a laser dei giorni nostri. Per non dilungarci troppo in questo ambito arriviamo subito a descrivere la tipologia di stampante analizzata durante la ricerca, ovvero le stampanti a LED (un sottogruppo delle stampanti laser).

Le stampanti laser in generale rappresentano il punto di riferimento per la qualità delle stampe di testo in bianco/nero. La tecnologia utilizza, per il processo di formazione dell'immagine, una sorgente laser controllata dal software installato nel PC. Un'alternativa alla sorgente luminosa di tipo laser è rappresentata dalle sorgenti LED, molto simili alle altre sia per le modalità di stampa sia per la qualità che riescono ad ottenere, che consentono però un minore consumo di energia elettrica. Ultimamente si stanno sempre più diffondendo anche stampanti laser a LED a colori che, grazie all'evoluzione tecnologica e commerciale, hanno visto una progressiva riduzione del loro prezzo ed un contemporaneo miglioramento di prestazioni. Il principio di funzionamento è analogo a quello delle stampanti a LED monocromatiche, solamente che in questo caso è come gestire in parallelo tante stampanti monocromatiche quanti sono i colori da gestire (di solito quattro, ovvero il nero e i tre colori primari, ma i modelli più costosi dispongono anche dei mezzi toni).

Il principio di funzionamento delle stampanti in bianco e nero si basa su una sorgente luminosa⁴⁵ che sollecita con grande precisione un rullo di stampa ricoperto da uno strato di materiale fotosensibile (cioè in grado di caricarsi elettricamente se eccitato da un fascio di luce). Il rullo così caricato, entrando in contatto con una finissima polvere denominata Toner (una miscela di piccole particelle di carbone e resina), attira su di sé queste particelle nelle zone caricate elettricamente per poi depositarle, per contatto, sul foglio di carta. Con un successivo processo termico si fissa il Toner: il foglio è fatto passare tra due rulli riscaldati ad

⁴⁵ La sorgente può essere costituita o da un fascio laser puntiforme o da una barra fissa con delle piccolissime lampade a LED. Nel primo caso vi è anche la presenza di una lente prismatica rotante in grado di indirizzare il fascio nei punti desiderati; questo prisma è movimentato sulla base dei segnali che arrivano dal PC collegato, in modo tale da "disegnare" per linee orizzontali l'immagine sul rullo rotante. Nel caso di barre a LED, non vi è alcun prisma in quanto la barra è lunga come il rullo e la sollecitazione luminosa avviene accendendo solo le lampade in prossimità dei punti da sollecitare.

alta temperatura in modo tale che il calore fonda temporaneamente la resina contenuta nel Toner fissandolo sul foglio e dando origine a stampe con un nero molto marcato e duraturo nel tempo.

A differenza delle unità monocromatiche, nelle stampanti a colori il procedimento di stampa è leggermente differente. La stampante è infatti caratterizzata dalla presenza di un supporto rotante nel quale sono alloggiati quattro unità di stampa (per i colori nero, giallo, magenta e ciano) denominate “unità cartridge”, ovvero dispositivi che contengono sia le particelle di Toner sia il relativo rullo fotosensibile. In ognuna di esse, un raggio LED è opportunamente indirizzato sul proprio rullo, caricandolo elettricamente. In questo modo, per ogni colore le particelle di Toner si depositeranno sul rispettivo rullo nelle aree caricate. L'immagine complessiva, quindi, si crea con la combinazione in ogni punto delle quattro tonalità di Toner rilasciate. Il processo finale di fissaggio termico è il medesimo delle stampanti monocromatiche.

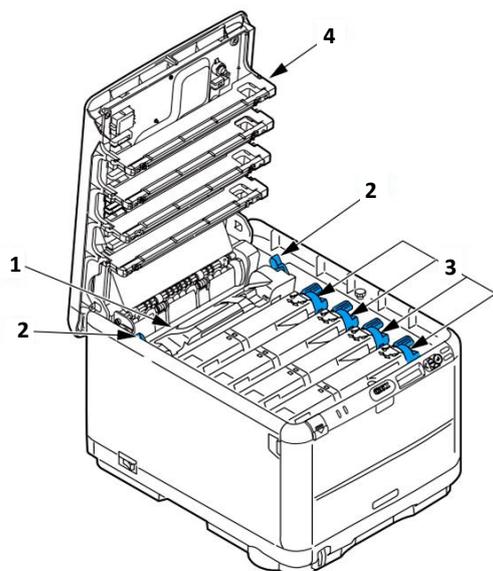
Ora che sono stati illustrati i processi che avvengono durante la stampa, si prosegue facendo riferimento alla stampante oggetto di analisi. Il modello monitorato è di tipo a LED a colori, di taglia commerciale medio-alta, installato in un ufficio tecnico di progettazione di impianti elettrici industriali e capace di garantire una elevata qualità di stampa. Maggiori informazioni tecniche sono contenute nella *Tabella 5.26*, in cui si riportano i dati di targa e alcune principali caratteristiche di funzionamento.

Marca e modello	Oki C3600
Alimentazione	220-240 V ~ 50/60 Hz
Potenza massima in funzione	980 W
Potenza massima in stand-by	100 W (50 W in media)
Metodo di stampa	Metodo fotografico elettronico della fonte luminosa esposta a LED
Risoluzione (dpi)	600x600, 600x1200, 600x600 (2 bit)

Tabella 5.26 – Specifiche tecniche stampante da ufficio.



Figura 5.122 – Immagine della stampante monitorata.



LEGENDA

- 1) Unità fusore: contiene un rullo che fissa il Toner alla carta.
- 2) Leve del fusore: servono a bloccare o sbloccare l'unità fusore durante la manutenzione.
- 3) Cartucce di Toner colorati e relative leve
- 4) Testine LED (una per ogni colore) per dirigere la luce nei quattro tamburi di stampa.

Figura 5.123 – Particolare dei componenti della stampante monitorata.

Durante l'analisi è stato seguito il comportamento dell'apparecchio durante la stampa di una pagina in bianco/nero in modalità rapida e a risparmio di inchiostro; nel grafico di *Figura 5.124* è riportato il profilo di carico a partire dall'accensione della stampante fino alla completa espulsione del foglio dal vassoio.

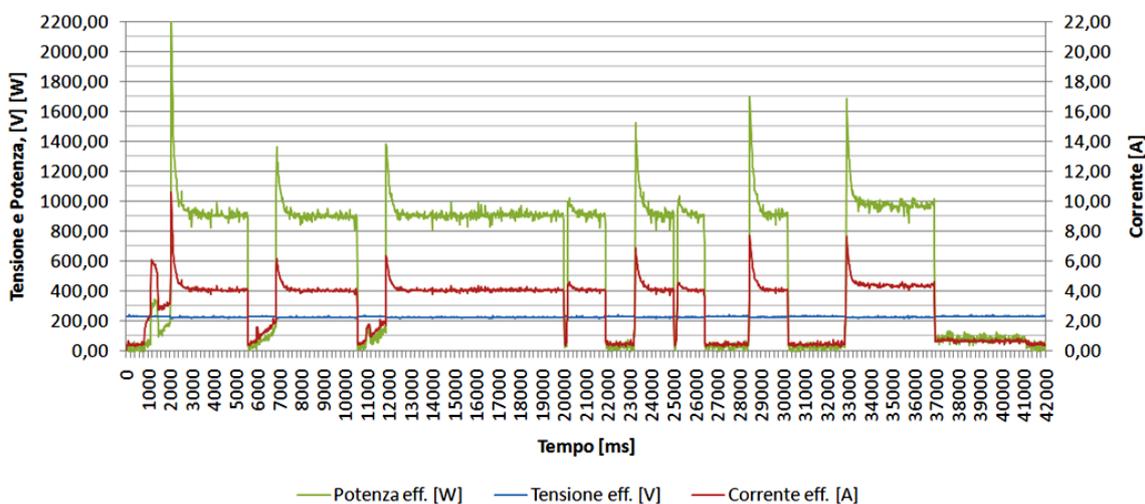


Figura 5.124 – Stampante da ufficio: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci per un ciclo di stampa in B/N.

In questo caso, purtroppo, è molto difficile individuare esattamente tutti i processi distinti che avvengono durante il processo di stampa, tuttavia, basandosi anche grosso modo sui tempi di altre stampanti simili, si è tentato di distinguere la fase di inizializzazione da quella di stampa, poiché all'accensione della stampante ogni apparecchio necessita di un periodo di preparazione (una sorta di riscaldamento) di tutti gli elementi interni. Ad ogni modo riteniamo opportuno mettere in luce gli aspetti qualitativi della forma d'onda, in quanto sicuramente possono darci informazioni più approfondite rispetto ai soli valori efficaci. Per questo motivo,

nelle figure che seguono sono rappresentati degli ingrandimenti di alcuni tratti significativi. Dalla *Figura 5.125* alla *Figura 5.127* sono riportati gli andamenti istantanei in alcuni tratti iniziali, e dai profili di corrente si nota che le operazioni elettroniche assorbono corrente armonica generata anche stavolta da un ponte di Graetz; in questo caso però si tratta di un ponte "total controllato", che a differenza di quello già visto è programmabile in modo che entri in azione solo in certi momenti, mantenendo a valle una tensione più bassa di quella di rete e limitando l'assorbimento di corrente a dei picchi istantanei (infatti dai dati monitorati si hanno valori diversi da zero entro il millisecondo). Il movimento del tamburo (probabilmente per una pulizia iniziale) è invece azionato da un motorino, quindi l'andamento è sinusoidale. In *Figura 5.128*, invece, si ha la rotazione del tamburo fusore in aggiunta alla potenza termica necessaria al fissaggio del toner, quindi la potenza dissipata è maggiore che nelle fasi precedenti.

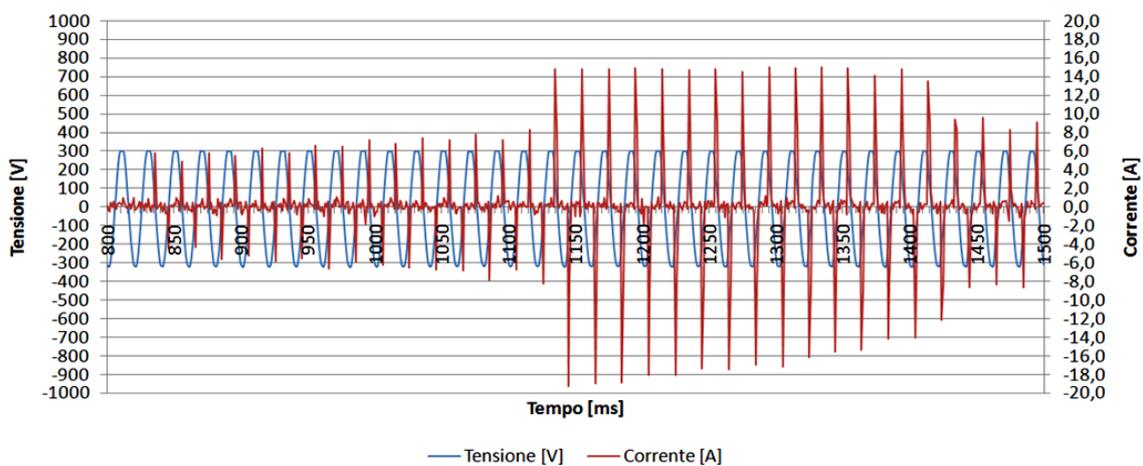


Figura 5.125 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanea in fase di inizializzazione.

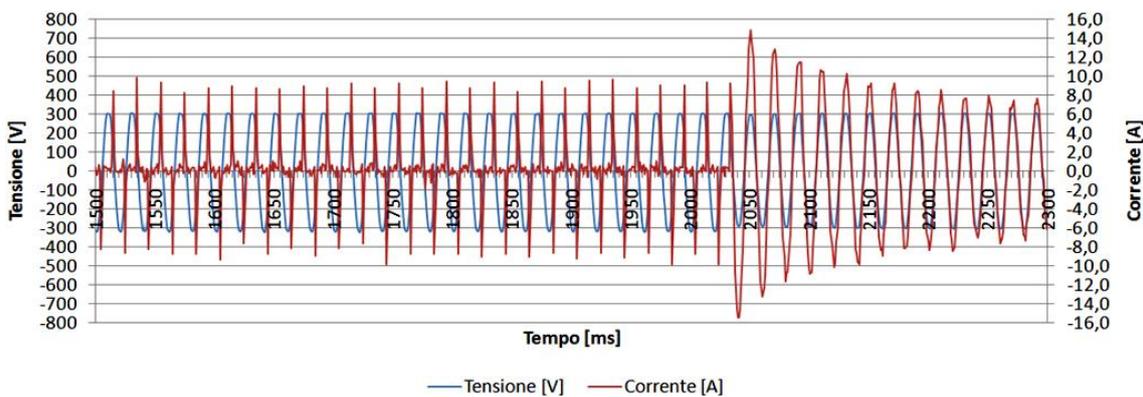


Figura 5.126 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanea in fase di inizializzazione.

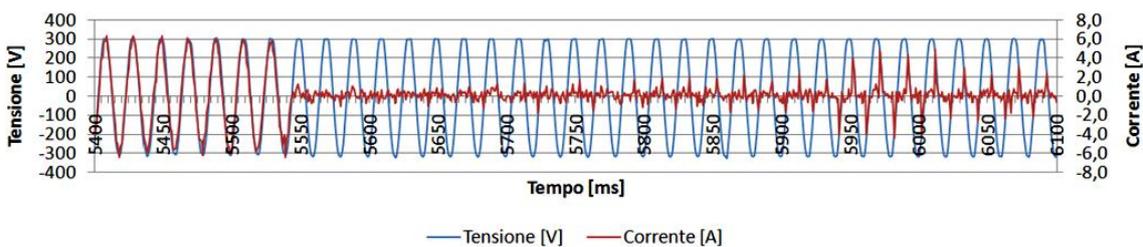


Figura 5.127 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanea in fase di inizializzazione.

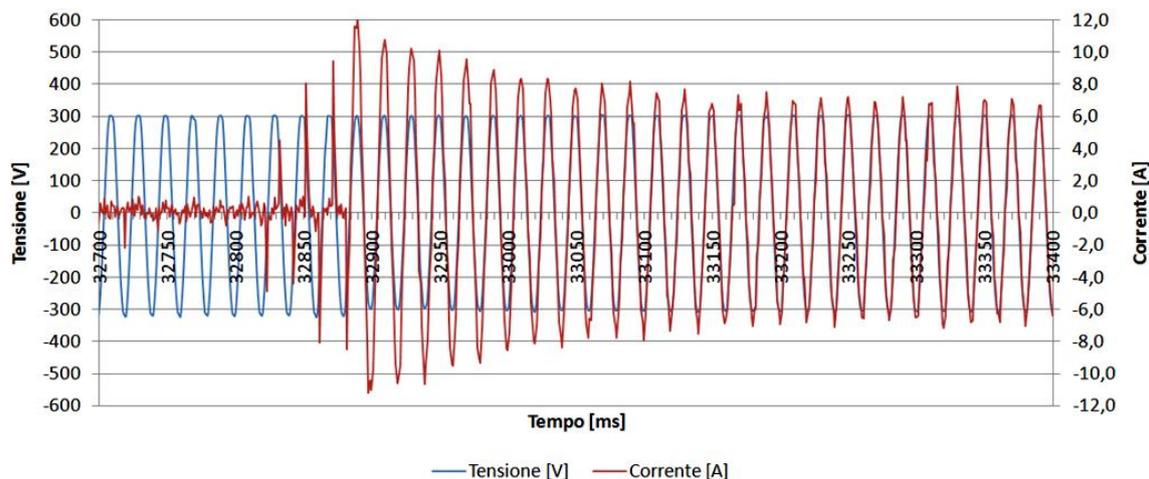


Figura 5.128 – Stampante da ufficio: andamento di tensione, potenza e corrente a inizio stampa.

L'ultimo aspetto da trattare è, come sempre, quello legato al consumo energetico, e come per gli altri apparecchi, suddividiamo l'intero periodo monitorato nelle fasi significative; in questo caso si è ritenuto opportuno differenziare la fase iniziale (ipotizzata) dalla stampa vera e propria e dall'espulsione del foglio.

FASE	DURATA [s]	CORRENTE MAX [A]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MAX [W]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO [Wh]
Inizializzazione	32	10,6	3,2	2266,4	657,3	5,8
Stampa	4	7,6	4,5	1684,5	1000,5	1,1
Espulsione	4	3,3	0,7	613,9	85,4	0,1

Tabella 5.27 – Tabella riassuntiva del consumo della stampante da ufficio.

5.15 Illuminazione

Ora che abbiamo visto le caratteristiche di assorbimento dei principali elettrodomestici o apparecchiature elettriche in generale, cambiamo leggermente il tiro dell'indagine e ci spostiamo nel campo dell'illuminazione degli ambienti. Questa scelta è stata presa per non confinare la trattazione energetica al solo ambito residenziale, per il quale il consumo degli elettrodomestici installati è preponderante rispetto all'illuminazione, ma offrire almeno un punto di partenza per studi più accurati rivolti al settore del terziario. Se nel primo caso, infatti, è importante una gestione oculata del funzionamento coordinato dei singoli carichi, per gli uffici è fondamentale regolare in maniera razionale l'uso e la qualità dell'energia elettrica destinata a garantire un adeguato livello di comfort luminoso negli ambienti e un certo livello di sicurezza nelle zone limitrofe (l'illuminazione è sinonimo di maggiore sicurezza).

A questo punto pare sensato riportare, come per una lavatrice o per un televisore, le caratteristiche di consumo di alcune sorgenti luminose per capire in che modo esse assorbano l'energia elettrica dalla rete.

Lo sviluppo delle tecnologie applicate all'illuminazione ha portato alla creazione di un'alta varietà di lampade, destinate ad altrettante applicazioni. In ogni caso, la totalità delle sorgenti

luminose può essere suddivisa in due macrogruppi: i radiatori termici (lampade ad incandescenza) e i radiatori a luminescenza (lampade a scarica in generale).

Premesso ovviamente che la progettazione illuminotecnica tiene conto di molteplici fattori oltre alla potenza assorbita (direzione del flusso luminoso, illuminamento delle zone servite, temperatura di colore e resa cromatica della sorgente, ecc.), in questa sede viene affrontato esclusivamente l'aspetto del consumo, quindi i ragionamenti portati avanti fanno riferimento a valori medi di potenza installata, facendo dei confronti di massima relativamente alle potenze equivalenti tra le varie tipologie.

5.15.1 Lampade ad incandescenza ed alogene

Le sorgenti luminose ad incandescenza sono le più antiche tra quelle alimentate a corrente elettrica (furono inventate da Thomas Edison alla fine del 1879), ma purtroppo anche quelle oggi più utilizzate, e anche se ultimamente sta crescendo di molto l'uso di lampade a basso consumo (merito soprattutto degli obblighi imposti a livello europeo a partire dal 2009), il processo di sostituzione è ancora agli inizi, particolarmente in ambito residenziale.

Una lampada ad incandescenza è un radiatore termico, che in una minima parte fornisce anche luce nel campo del visibile (rispetto all'energia emessa, il 5-7% è nel campo del visibile, il 93-95% sono IR e circa lo 0,1% sono UV), mentre il rendimento vero e proprio, ossia il rapporto tra potenza luminosa fornita e potenza elettrica assorbita, è solamente del 2%. Una lampada di questo tipo è composta da un bulbo di vetro, all'interno del quale viene fatto il vuoto o vengono immessi gas inerti, che contiene a sua volta un filamento ricoperto da polveri di tungsteno il quale, una volta percorso da corrente, emana sia luce sia calore. Col passare del tempo i primi apparecchi si sono evoluti, arrivando agli ultimi modelli in cui il bulbo è riempito di argon o azoto (per ridurre la velocità di sublimazione del tungsteno) e la resistenza è un filamento avvolto a doppia spirale per limitare le perdite di calore per convezione.

Efficienza luminosa	≈ 14 Lumen/W
Indice di resa cromatica	100
Temperatura di colore	2800 K
Vita utile	1000 h in derivazione 1500 h in serie

Tabella 5.28 – Caratteristiche principali delle lampade ad incandescenza.

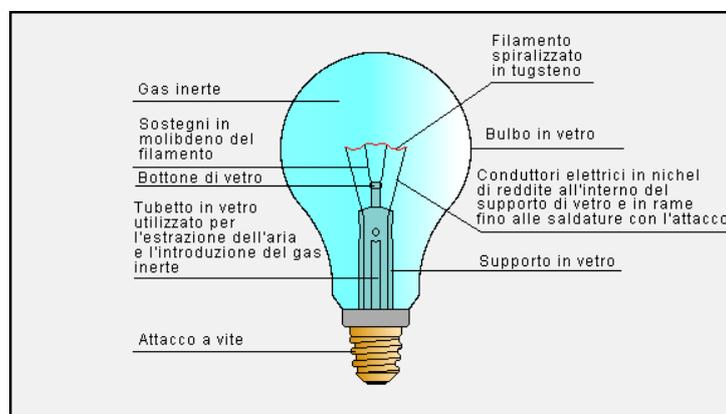


Figura 5.129 – Schema di funzionamento di una lampada ad incandescenza.

Il filamento in tungsteno ha una resistenza differente in funzione della temperatura di funzionamento; poiché a temperatura ambiente la sua resistenza è molto bassa, la corrente che passa al momento dell'accensione è elevata, il che fa surriscaldare in fretta il filamento aumentandone di conseguenza la resistenza (fino a 10-15 volte); da questo momento in poi la corrente cala e si attesta al valore nominale costante.

Le lampade alogene, naturale evoluzione di quelle ad incandescenza tradizionali, vengono inventate nel 1958. Rispetto a queste ultime, esse offrono un'emissione luminosa migliore (luce più bianca e nitida, migliore controllo del fascio luminoso) accompagnata da una riduzione del consumo energetico, una durata maggiore e dimensioni minori.

Efficienza luminosa	≈ 25 Lumen/W
Indice di resa cromatica	100
Temperatura di colore	2900÷3000 K
Vita utile	2000÷4000 h

Tabella 5.29 – Caratteristiche principali delle lampade alogene.

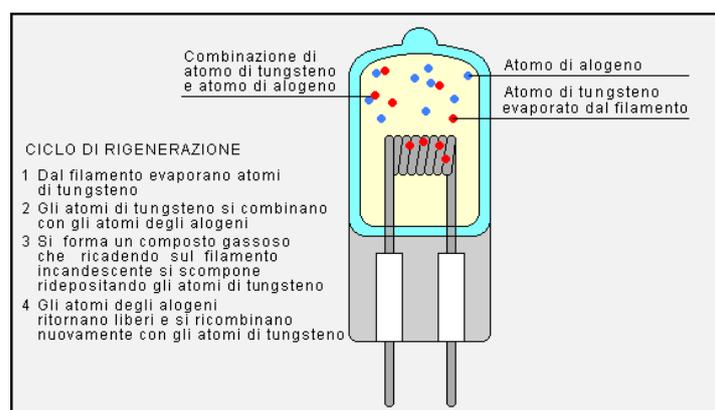


Figura 5.130 – Schema di funzionamento di una lampada alogena.



Figura 5.131 – Alcune immagini di lampade alogene (da sinistra: a due attacchi, ad un attacco, faretto completo).

Il principio di funzionamento è lo stesso e anche la corrente assorbita ha le stesse caratteristiche, quindi per l'analisi dettagliata si rimanda ai grafici relativi alla lampada ad incandescenza (Figura 5.132, Figura 5.133). L'unica piccola differenza sta nel come sono costruite, infatti a differenza delle lampade ad incandescenza il bulbo è in quarzo, per resistere alle temperature maggiori; inoltre al suo interno sono contenuti, oltre ai gas inerti, degli

alogeni come iodio e bromo, depositati sulla superficie interna del bulbo, che aumentano la durata del filamento. Parte del tungsteno, infatti, una volta sublimato si attacca ad una particella di alogeno che per differenza di gradiente termico lo rideposita sul filamento ritornando poi sulla superficie del bulbo. Per favorire questo processo è necessario quindi che il bulbo sia relativamente piccolo, in modo da ridurre il più possibile la distanza tra il filo e lo strato di alogeni.

Se da un lato esse offrono una luce più bianca più simile ancora a quella naturale, esistono anche alcuni svantaggi legati principalmente all'elevata temperatura del filamento che emette radiazioni nella zona ultravioletta dello spettro elettromagnetico (ossia emette raggi UV, non benefici per l'occhio umano). Per ovviare a questi problemi si può procedere in due modi: o drogando il quarzo del bulbo con piccole quantità di altri elementi che blocchino i raggi UV oppure montare la lampada in un ulteriore bulbo simile a quello delle normali lampadine. Il primo di questi metodi è utilizzato ad esempio su ampia scala nelle lampade dei fanali delle automobili.

Questa funzione rigeneratrice, oltre ad allungare la durata della lampada, riduce anche il processo di annerimento del bulbo causato dalla condensazione dei vapori metallici sulla sua superficie, facendo sì che alla fine della propria vita utile la lampada emani ancora circa il 95% del flusso luminoso iniziale (a differenza delle lampade ad incandescenza, che alla fine ne emanano solo l'80%).

Oltre alle lampade alimentate alla tensione di rete ce ne sono altre funzionanti a bassissima tensione (12 V), che però necessitano di un proprio trasformatore. Un accorgimento da mettere in atto durante l'installazione, infine, è quello di non toccare il bulbo a mani nude, poiché le sostanze rilasciate dalla pelle umana favoriscono il processo di devetrificazione e infragiliscono il bulbo.

Un discorso specifico va fatto in relazione alla possibilità di regolare il flusso luminoso tramite dei *dimmer*. Le lampade ad incandescenza sono molto sensibili alle variazioni di tensione e corrente: una sovratensione del 5%, ad esempio, favorisce da un lato un aumento della qualità di illuminazione di circa il 20%, ma dall'altro un quasi dimezzamento della vita utile; analogamente, una riduzione del 10% della corrente assorbita favorisce certamente la durata della lampada ma in maniera molto minore rispetto al calo del flusso luminoso. Riguardo alle alogene, invece, un utilizzo con corrente variabile è in ogni caso deleterio in quanto riduce la durata della lampadina e il flusso luminoso emesso: riducendo la corrente, infatti, si altera in maniera negativa il processo rigenerante dell'alogeno, comportando un più rapido deterioramento del filo e un maggior deposito di polveri di tungsteno rispetto alle condizioni nominali.

Nell'analisi portata avanti in queste righe è stata monitorata a scopo di esempio una lampadina ad incandescenza da 60 W, della quale qui di seguito riportiamo i grafici, prima funzionante normalmente e poi soggetta a dimmeraggio con controllo di fase.

In *Figura 5.132* si può ben vedere come all'accensione la corrente sia molto elevata, mentre in pochi istanti, in seguito appunto al riscaldamento del filo, la resistenza aumenta fino al valore di regime facendo emettere la caratteristica luminescenza. Per quanto riguarda la qualità della corrente assorbita, poiché l'intero circuito è composto da una resistenza semplice, alla tensione di rete il profilo è perfettamente sinusoidale e in fase con la corrente (*Figura 5.133*).

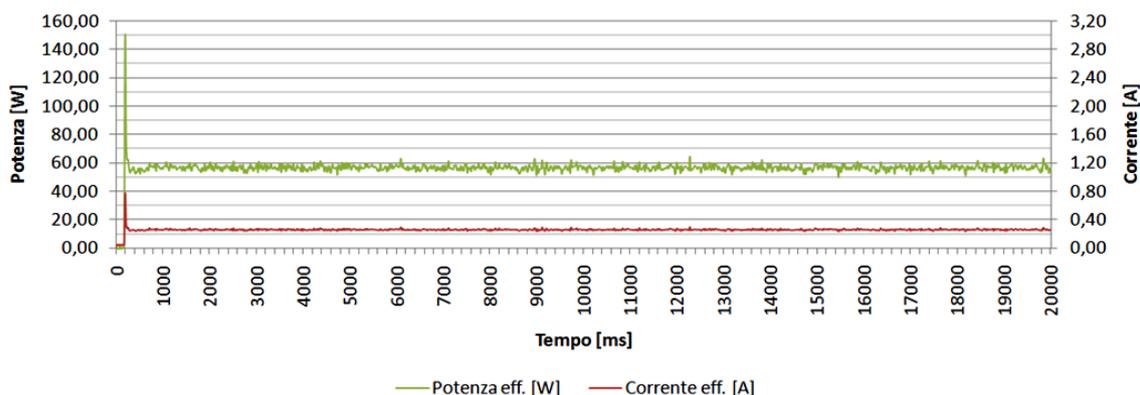


Figura 5.132 – Lampada ad incandescenza: andamento di potenza media e corrente efficace.

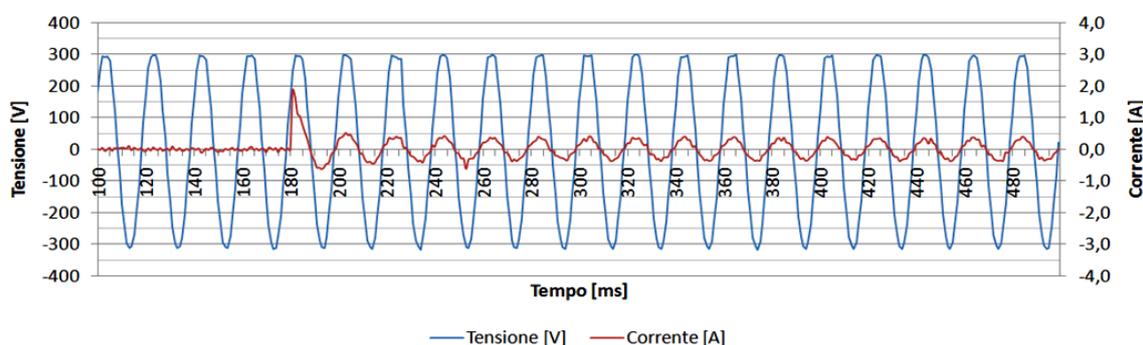


Figura 5.133 – Lampada ad incandescenza: andamento di tensione e corrente istantanea.

Queste sono le condizioni cui è normalmente sottoposta una lampada a filamento, ma cosa succede quando si agisce su un variatore di tensione (*dimmer*) per regolare il flusso luminoso? Nella seconda prova si sono analizzati gli effetti di una regolazione con controllo di fase, ossia facendo variare il ritardo di assorbimento della corrente. Nonostante si sia osservata una effettiva riduzione di potenza assorbita, il consumo complessivo non cala in maniera esattamente proporzionale al flusso luminoso emesso, bensì si riduce in maniera minore; questo vuol dire che “abbassare le luci” ad esempio del 50% non equivale propriamente a dimezzare il consumo energetico.

Per capire cosa accade alle grandezze in gioco, la raccolta dati è stata effettuata (con la lampada sempre a regime) variando volta per volta l'angolo di ritardo di 15° , omettendo il ritardo massimo (ossia 180° , in cui la potenza attiva è nulla e lampadina è spenta) e quello nullo (ossia 0° , uguale al profilo normale visto in *Figura 5.132* e in *Figura 5.133*). Per poter confrontare meglio le varie condizioni si è ritenuto opportuno mostrare prima tutti i grafici relativi ai valori istantanei (da *Figura 5.134* a *Figura 5.144*) e poi quelli relativi ai valori efficaci (da *Figura 5.145* a *Figura 5.155*), in modo da distinguere più facilmente le differenze.

Osservando in sequenza gli andamenti istantanei si percepisce la progressiva distorsione della forma d'onda della corrente, la quale si schiaccia verso lo zero all'inizio di ogni semiperiodo; con uno strumento altamente preciso come un oscilloscopio si osserverebbe che in questo tratto la corrente è proprio nulla, in quanto non vi è conduzione,⁴⁶ per poi riprendere dopo l'angolo di ritardo con il proprio corrispondente valore istantaneo.

⁴⁶ Ad esempio, poiché lo sfasamento massimo vale π , con $\Delta\varphi = 90^\circ$ ($\pi/2$) si ha nella prima mezza semionda una corrente circa nulla, con $\Delta\varphi = 120^\circ$ ($3\pi/2$) si ha corrente nulla per i primi $3/2$ di ogni semionda e così via.

In seconda analisi, si nota che l'onda non viene semplicemente "tagliata" in parte ad ogni semiperiodo, ma riprende con un'ampiezza (o meglio un picco, perché poi non si tratta più di un'onda continua) non esattamente uguale rispetto a quella che si avrebbe nello stesso punto in condizioni normali. Questo è lo stesso fenomeno che si verifica all'accensione: nei periodi di corrente nulla, infatti, il filamento si raffredda in maniera impercettibile, riducendo la sua resistenza e aumentando la corrente trasportata. Il picco, poi, aumenta sempre fino allo sfasamento di 90° , poiché in questo punto la corrente riprende con il valore massimo della curva; aumentando ulteriormente il ritardo si ha comunque una corrente maggiore di quella senza sfasamento, ma il picco diminuisce poiché dai 90° in poi l'ampiezza dell'onda decresce.

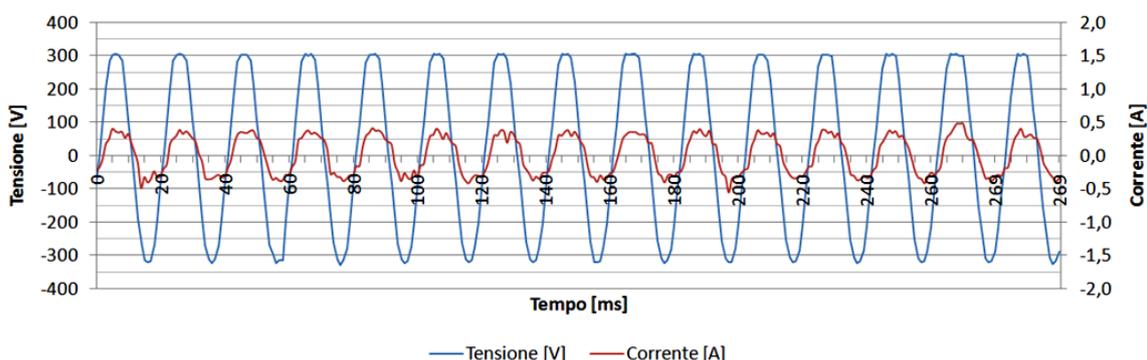


Figura 5.134 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 15^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

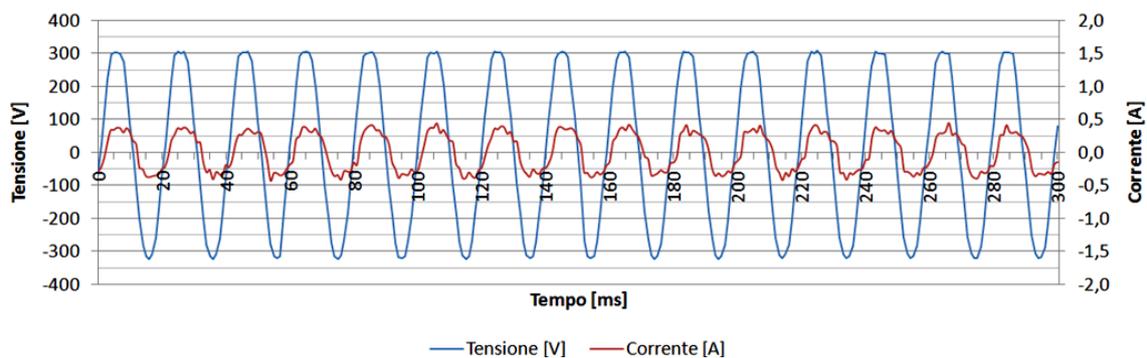


Figura 5.135 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 30^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

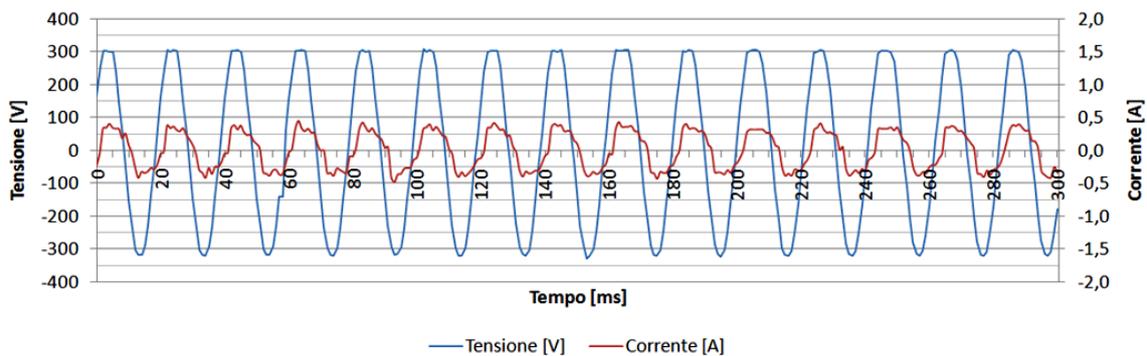


Figura 5.136 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 45^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

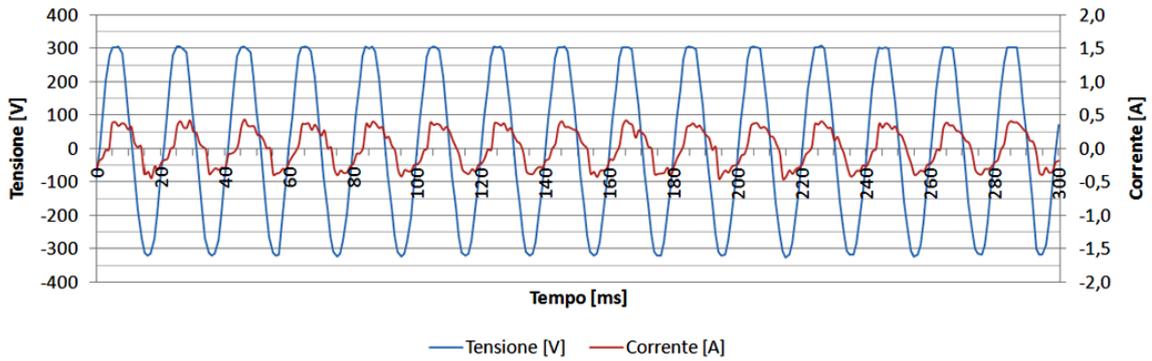


Figura 5.137 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 60^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

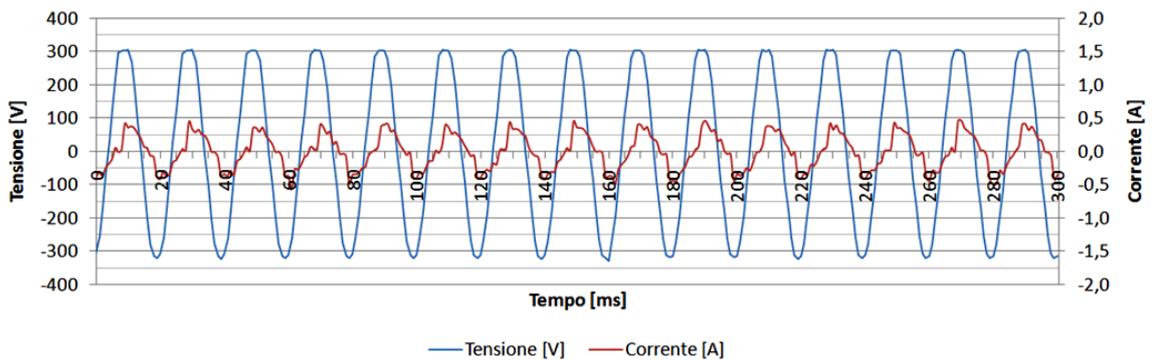


Figura 5.138 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 75^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

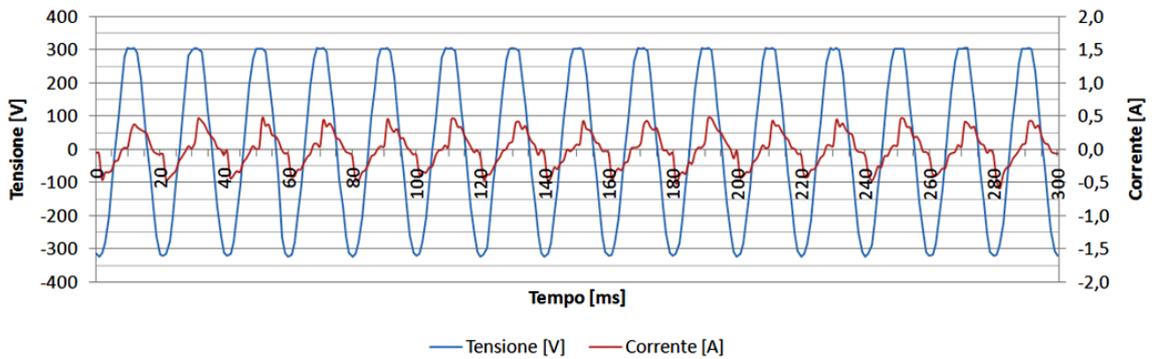


Figura 5.139 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 90^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

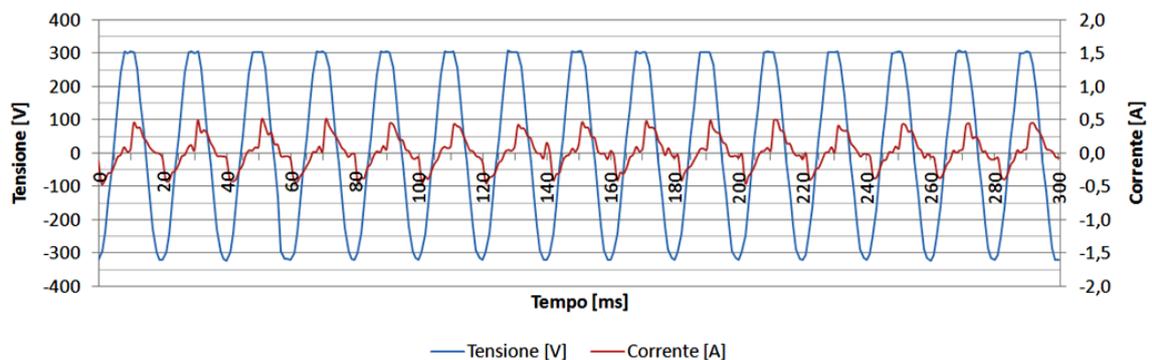


Figura 5.140 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 105^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

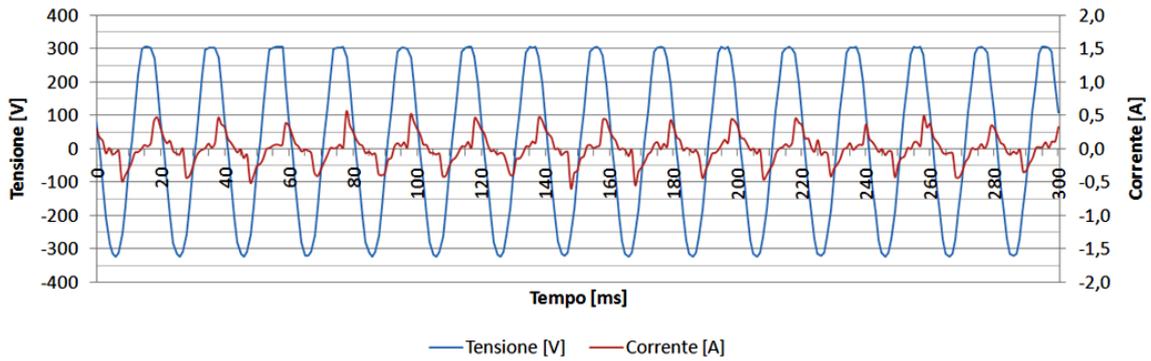


Figura 5.141 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 120^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

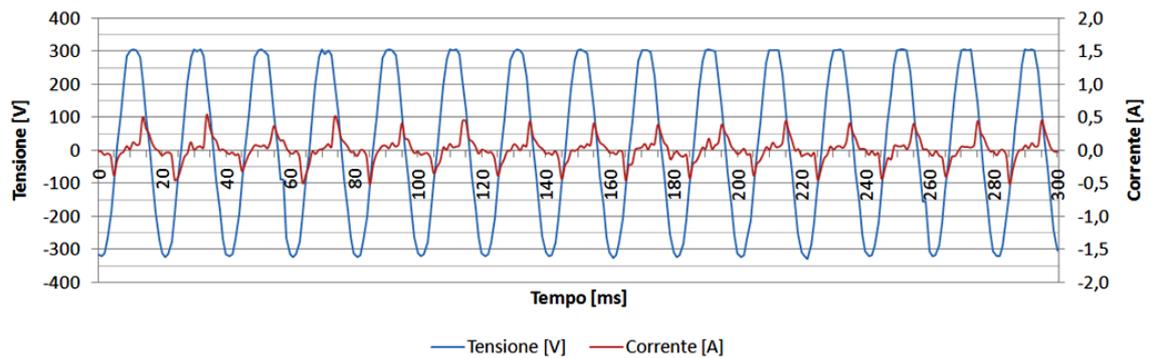


Figura 5.142 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 135^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

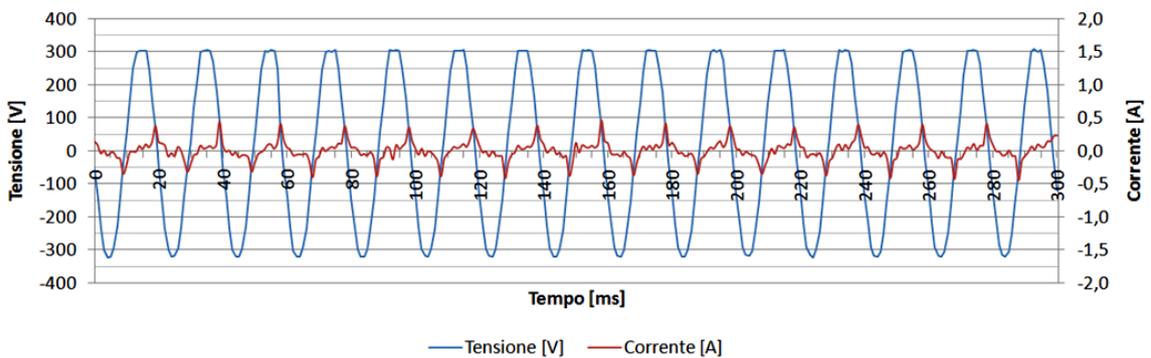


Figura 5.143 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 150^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

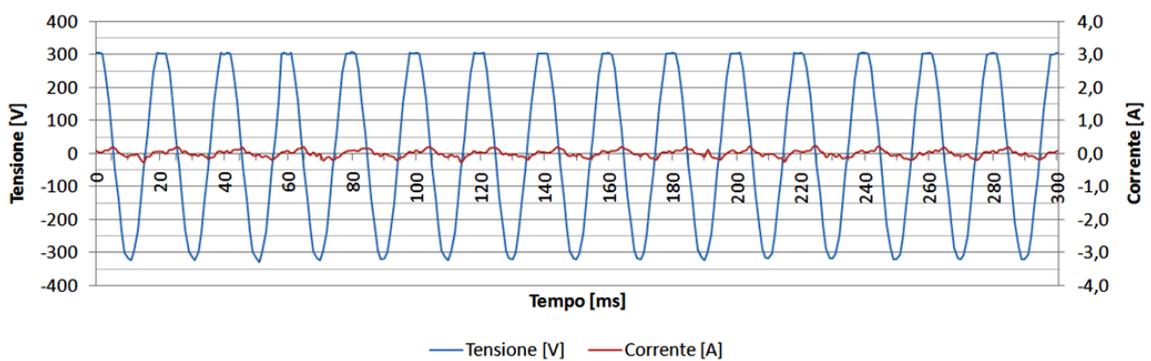


Figura 5.144 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 165^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.

Passando ai valori medi/efficaci si hanno invece delle sorprese. Se da un lato, come pare logico pensare, la potenza assorbita e la corrente diminuiscono, accade anche che i rispettivi profili non siano più costanti, bensì acquistino una forma a gobbe. Il profilo di potenza inizia a registrare le prime deformazioni sensibili a circa 60° di sfasamento, con una successiva accentuazione fino a $\Delta\varphi = 90^\circ$ e un nuovo “raddrizzamento” avvicinandosi allo sfasamento massimo. La corrente invece segue un percorso diverso in quanto la sua deformazione aumenta sempre fino alla fine.

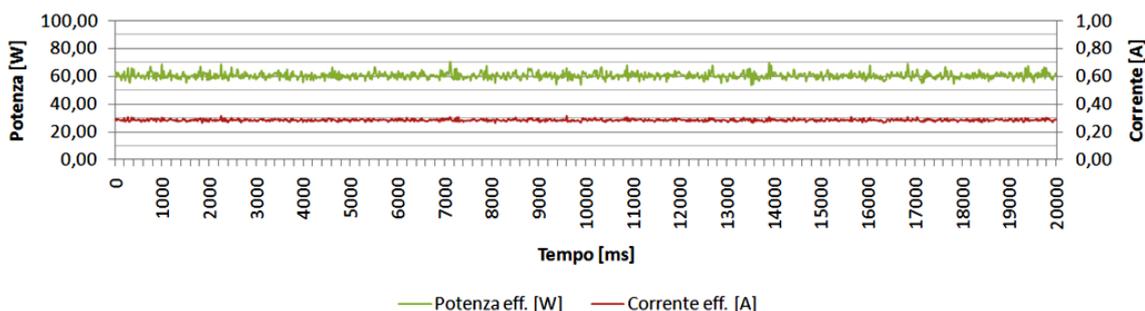


Figura 5.145 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 15^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

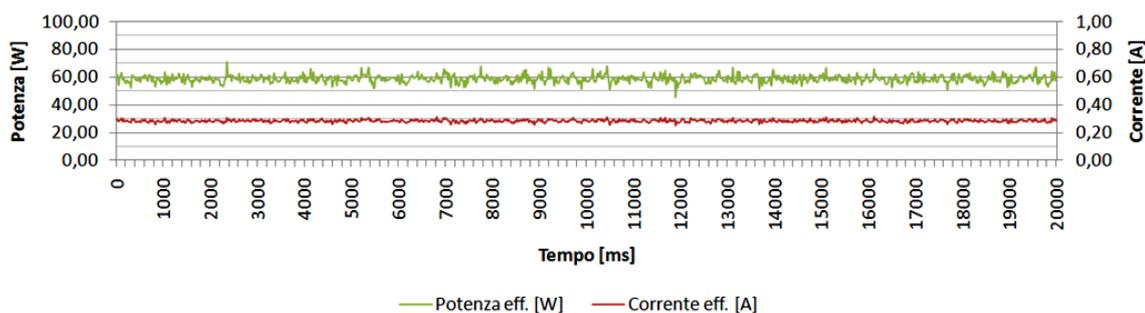


Figura 5.146 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 30^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

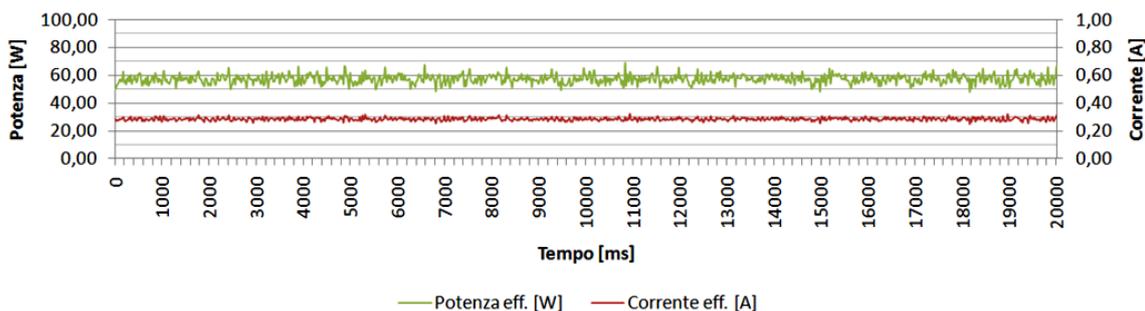


Figura 5.147 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 45^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

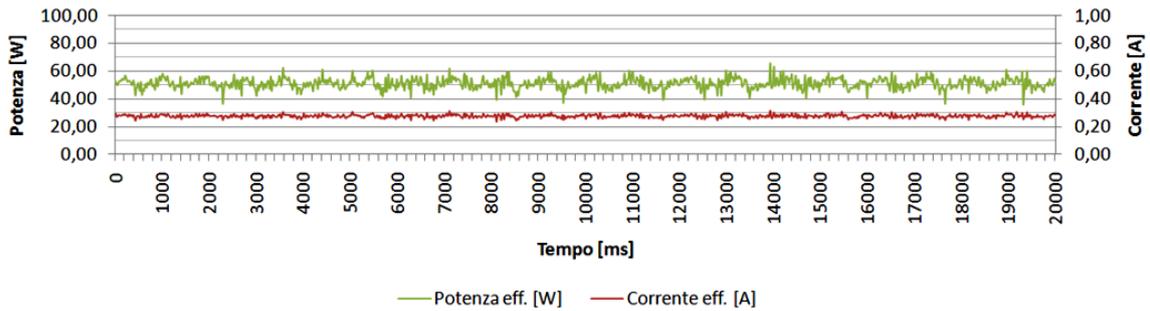


Figura 5.148 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 60^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

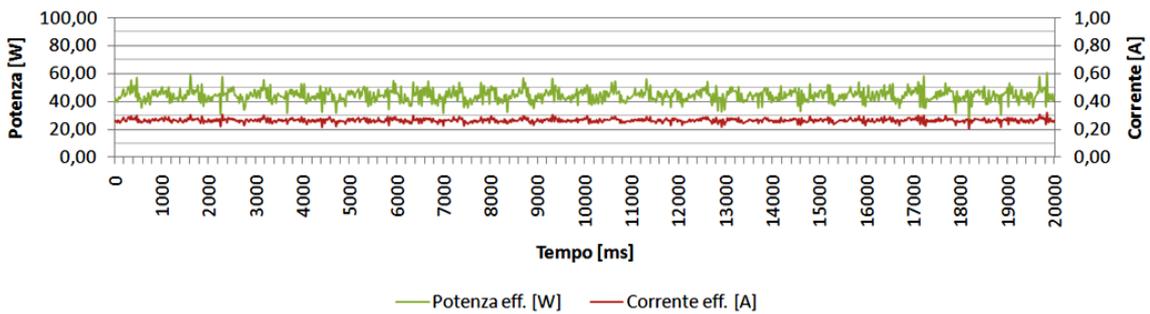


Figura 5.149 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 75^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

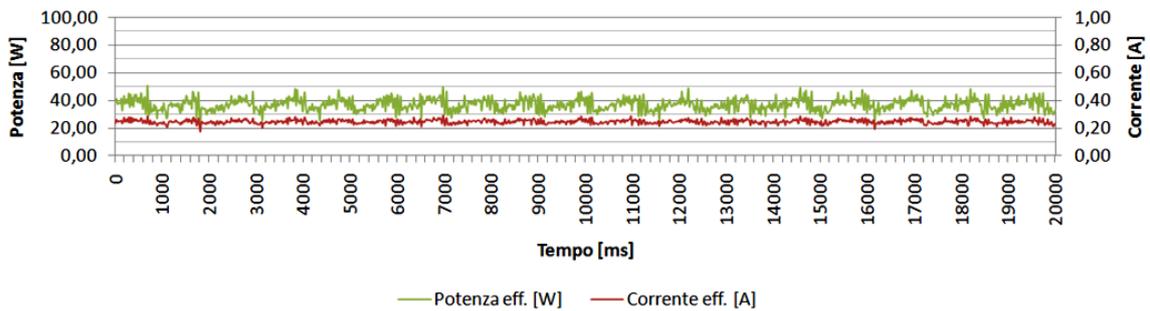


Figura 5.150 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 90^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

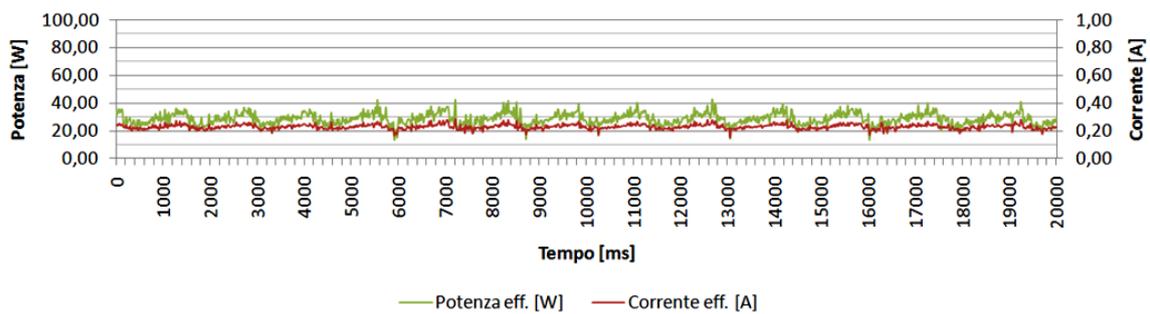


Figura 5.151 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 105^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

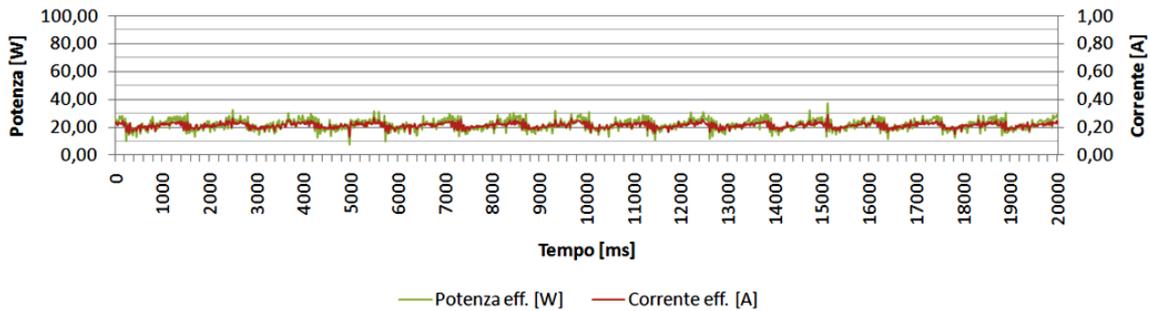


Figura 5.152 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 120^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

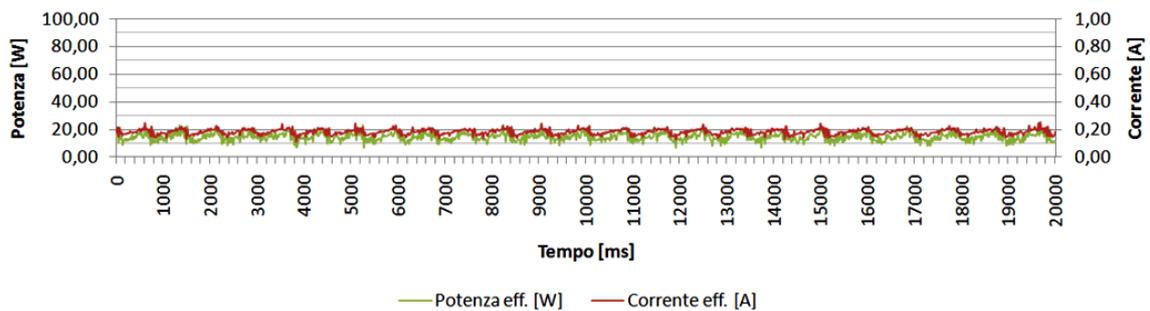


Figura 5.153 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 135^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

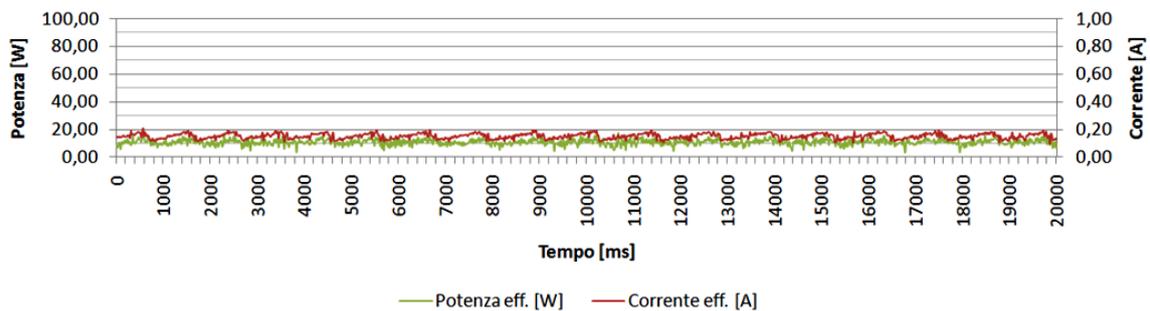


Figura 5.154 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 150^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

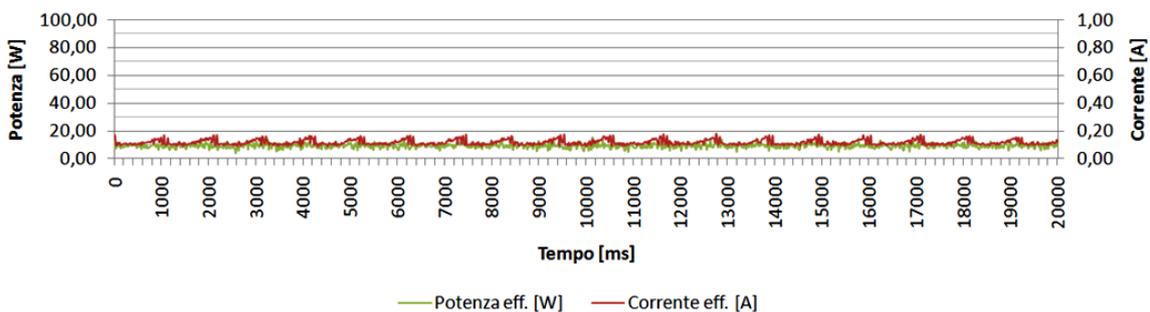


Figura 5.155 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 165^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.

A questo proposito, poiché la dimmerazione è legata alla variazione della potenza assorbita, può essere comodo avere un prospetto di quanto realmente vari il consumo di una lampadina nelle diverse situazioni (Tabella 5.30). Si osserva che l'effettivo consumo percentuale è di poco maggiore rispetto alla corrispondente riduzione di corrente assorbita.

ANGOLO DI RITARDO [°]	QUOTA DI SEMIONDA RILEVATA [%]	CORRENTE MEDIA [A]	POTENZA MEDIA [W]	CONSUMO MEDIO IN 1 ORA [Wh]	CONSUMO [%]
0	100	0,3	60	60	100
15	92	0,3	60	60	100
30	83	0,3	59	59	98
45	75	0,3	57	57	95
60	66	0,3	52	52	87
75	58	0,3	44	44	73
90	50	0,3	37	37	62
105	42	0,2	29	29	48
120	33	0,2	22	22	37
135	25	0,2	15	15	25
150	17	0,2	11	11	18
165	8	0,1	10	10	16
180	0	0	0	0	0

Tabella 5.30 – Tabella riassuntiva del consumo di una lampada a filamento da 60 W dimmerata.

5.15.2 Lampade fluorescenti compatte (CFL) e tubolari

Le lampade fluorescenti (più precisamente: lampade a vapori di mercurio a bassa pressione con strato fluorescente) fanno parte, assieme ad altre che omettiamo in questa sede, della categoria più ampia delle lampade a scarica. Queste, come abbiamo detto, sono radiatori a luminescenza, in cui la radiazione luminosa è provocata dagli urti reciproci di particelle, cariche elettricamente, di un gas o un vapore.

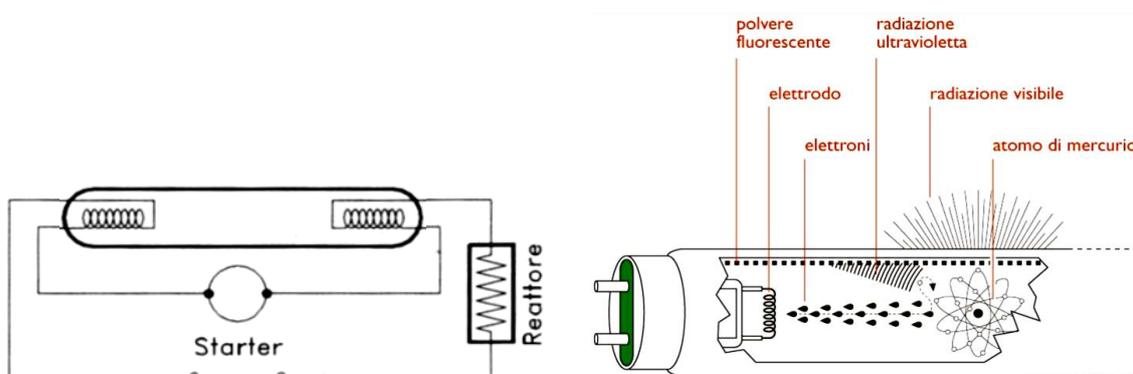


Figura 5.156 – Schemi del circuito elettrico e del funzionamento di una lampada fluorescente a tubo.

L'energia radiante emessa da una lampada a scarica è prodotta per emissione da parte del "plasma" (principalmente sotto forma di UV) generato dalla ionizzazione del gas contenuto nella lampada in seguito al passaggio di corrente elettrica. Poiché però la tensione di rete non è sufficiente per innescare la scarica elettrica, è necessario provvedere con opportuni circuiti a provocare una prima ionizzazione del gas; questo può essere ottenuto provocando un momentaneo aumento della tensione di alimentazione per mezzo di trasformatori e starter. Inoltre, a lampada accesa, per evitare l'aumento incontrollato delle collisioni, e quindi della temperatura e della pressione interna, è indispensabile un dispositivo elettronico, detto "reattore", capace di limitare e stabilizzare la scarica.

Una lampada di questo tipo è costituita da un tubo di vetro e quarzo trasparente (rettilineo, circolare o ricurvo come nelle fluorescenti compatte), riempito con un determinata quantità di gas ed eventualmente un metallo del tipo e in quantità variabili a seconda della tipologia di lampada e della luce richiesta; all'estremità del tubo sono poi saldati due elettrodi collegati ai conduttori di alimentazione.

Le lampade fluorescenti, in particolare, hanno la superficie interna del tubo rivestita di uno strato di fosfori (diversi a seconda del tipo di luce desiderato), i quali, eccitati dall'emissione del plasma, emettono fotoni su varie lunghezze d'onda. Le tonalità di colore consentite da queste lampade sono fondamentalmente 4; mettendole in ordine dalla più fredda alla più calda (ovvero da quella a temperatura di colore maggiore a quella minore) si ha:

- daylight: luce simile a quella diurna con cielo nuvoloso, usata per campionare i colori e per creare un'atmosfera fredda, temperatura di colore di 6500 K;
- cool white: luce bianca fredda, temperatura di colore di 4500 K;
- white: luce bianca abbastanza simile a quella delle lampade ad incandescenza, usata per integrare la luce naturale con quella artificiale, temperatura di colore di 3500 K;
- warm white: luce bianca calda molto vicina a quella delle lampade ad incandescenza, per creare un'atmosfera calda, temperatura di colore di 3000 K;

Nonostante queste sorgenti siano tra le più efficienti (e anche di molto, se confrontate con quelle ad incandescenza), trasformano in energia nel campo del visibile solamente il 22% di quella totale, emettendo per la restante parte il 73% circa di IR e il 5% circa di UV.

In generale, quindi, le lampade a scarica hanno una durata e un'efficienza molto maggiore rispetto a quelle a filamento, accompagnate da una ridotta luminanza (fonte di abbagliamento) e da una buona resa cromatica; tuttavia presentano anche qualche svantaggio, come la necessità di apparecchiature ausiliarie (starter, reattori, trasformatori, ecc.) molto sensibili a piccole variazioni di tensione o ad armoniche di corrente presenti in rete, oltre all'elevato ingombro e ai costi maggiori.

Efficienza luminosa	≈ 35 Lumen/W
Indice di resa cromatica	80
Temperatura di colore	3000÷6500 K
Vita utile	2000÷4000 h

Tabella 5.31 – Caratteristiche principali delle lampade fluorescenti.

L'analisi condotta in merito alle lampade fluorescenti ha riguardato sia un proiettore portatile contenente una fluorescente compatta da 36 W (di quelle ad accensione istantanea) sia una fluorescente tubolare, sempre da 36 W, tipica degli ambienti di lavoro. La prima indagine ha avuto come oggetto la fluorescente compatta (vedi specifiche in *Tabella 5.32*).

Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Potenza nominale	36 W
Temperatura di colore	6400 K
Tonalità	Daylight

Tabella 5.32 – Caratteristiche tecniche della lampada fluorescente compatta.



Figura 5.157 – Immagine del proiettore monitorato e della lampada CFL inserita.

Come appare evidente dai due grafici che seguono, il profilo di assorbimento è nettamente diverso rispetto ad una lampada a filamento, sia per quanto riguarda i valori efficaci sia per l'andamento istantaneo.

Nel primo caso si può notare che la potenza dissipata, identicamente alla corrente, non è per niente costante bensì è fatta a gobbe asimmetriche con il punto di massimo spostato quasi alla fine; questa particolare conformazione è dovuta all'azione stabilizzante del reattore.

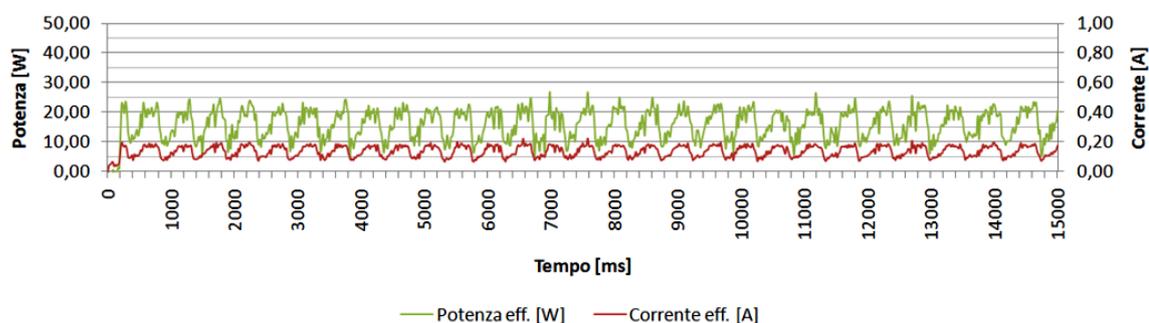


Figura 5.158 – Lampada fluorescente compatta: andamento di potenza media e corrente efficace all'accensione e a regime.

L'altro aspetto distintivo è senza dubbio la forma d'onda, caratterizzata da un andamento a picchi la cui forma rimanda ancora una volta ad un ponte a diodi. In Figura 5.159 è riportato l'andamento di una "gobba", partendo dal primo picco (di ampiezza minore rispetto agli altri) fino a raggiungere l'ultimo picco in fase decrescente; il tratto specifico, inoltre è perfettamente corrispondente a 0,5 s, a conferma di quanto detto.

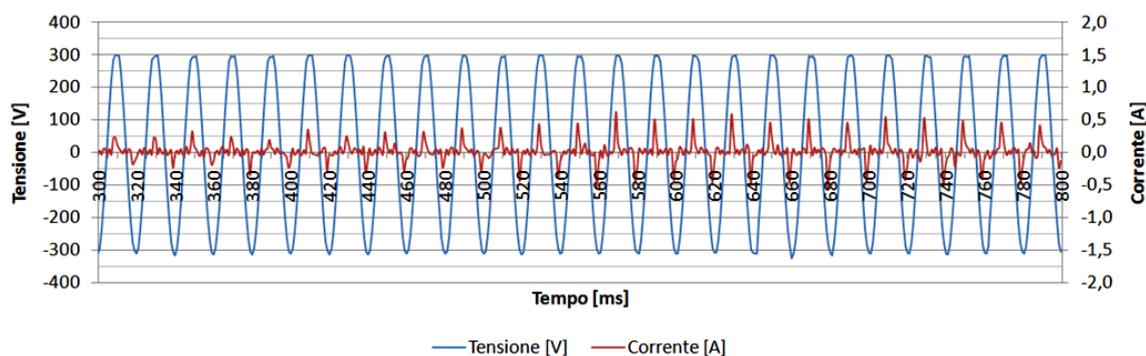


Figura 5.159 – Lampada fluorescente compatta: andamento di tensione e corrente istantanea.

Il secondo campionamento si è svolto sulla fluorescente tubolare (vedi specifiche in *Tabella 5.33*), la quale come si vedrà ha un assorbimento differente dalla CFL.

Alimentazione	220-240 V ~ 50 Hz
Potenza nominale	36 W
Temperatura di colore	4000 K
Tonalità	Cool White

Tabella 5.33 – Caratteristiche tecniche della lampada fluorescente tubolare.



Figura 5.160 – Immagine di una lampada fluorescente tubolare comune.

Contrariamente alla fluorescente compatta, dalla *Figura 5.161* si evidenziano le scariche iniziali prima dell'accensione completa: l'interruttore, e quindi il primo tentativo di scarica, è stato azionato a circa 500 ms, mentre il secondo tentativo si è verificato dopo circa 1,5 s, ottenendo la ionizzazione del gas e l'accensione della lampada. Le prove fatte sono state più di una, ma in tutti i casi la lampada si è accesa alla seconda scarica e con circa gli stessi tempi. Osservando le variazioni di potenza e di corrente, in valore efficace, ci si rende conto che seguono percorsi diversi: la potenza cresce ad ogni scarica, mentre la corrente è inizialmente ad un valore elevato per poi ridursi a regime.

Questo fenomeno si spiega osservando cosa succede alla forma d'onda della corrente, dalla *Figura 5.162* alla *Figura 5.165*: inizialmente la corrente elettrica serve ad alimentare lo starter che, dopo circa 1 s, genera una sovratensione (non rilevata perché interna ai componenti della lampada) con conseguente picco di corrente, in modo da creare una prima scarica e riscaldare il gas; tuttavia le condizioni raggiunte non sono sufficienti per la conduzione (in questa fase viene assorbito meno di un terzo della potenza a regime), perciò l'operazione si ripete e dopo

poco tempo si effettua un'altra scarica che questa volta riesce a portare il gas alla temperatura di ionizzazione, chiudendo quindi il circuito e facendo fluire la corrente nella lampada.

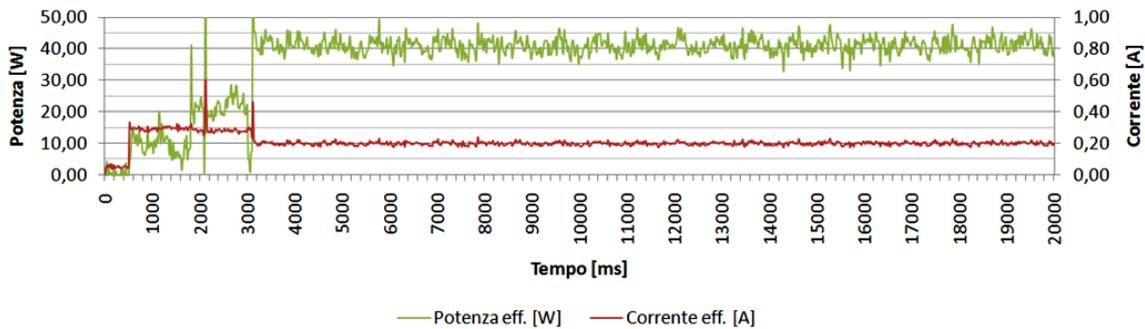


Figura 5.161 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di potenza media e corrente efficace.

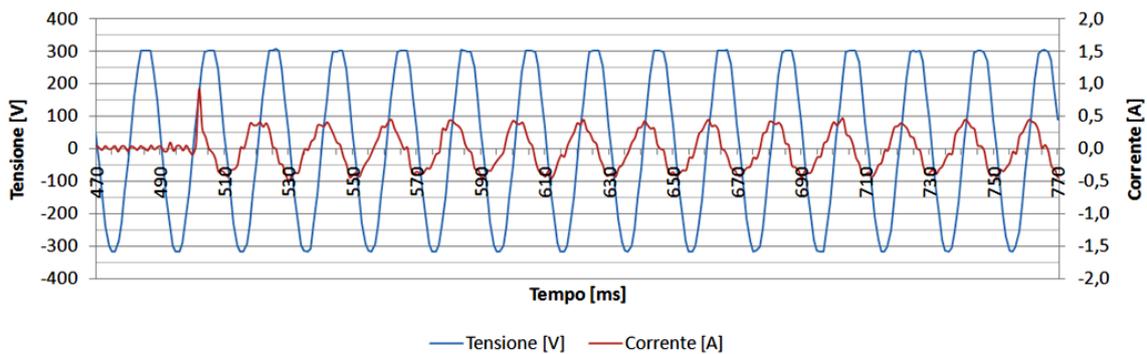


Figura 5.162 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio (prima scarica).

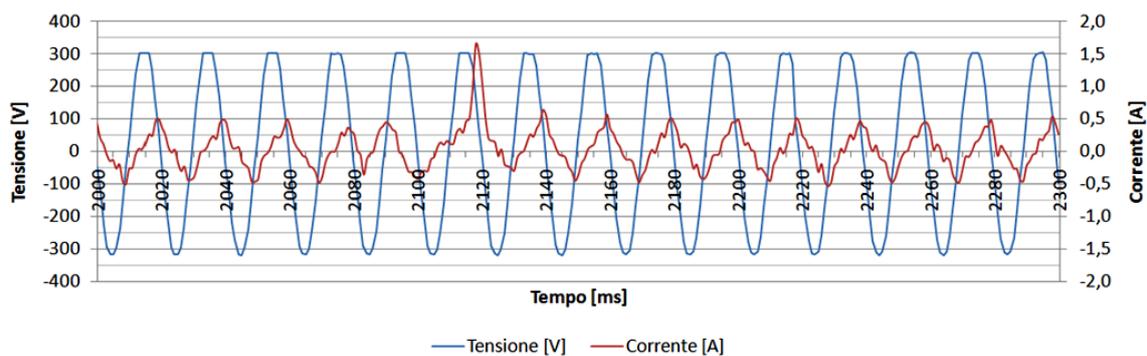


Figura 5.163 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee alla seconda scarica.

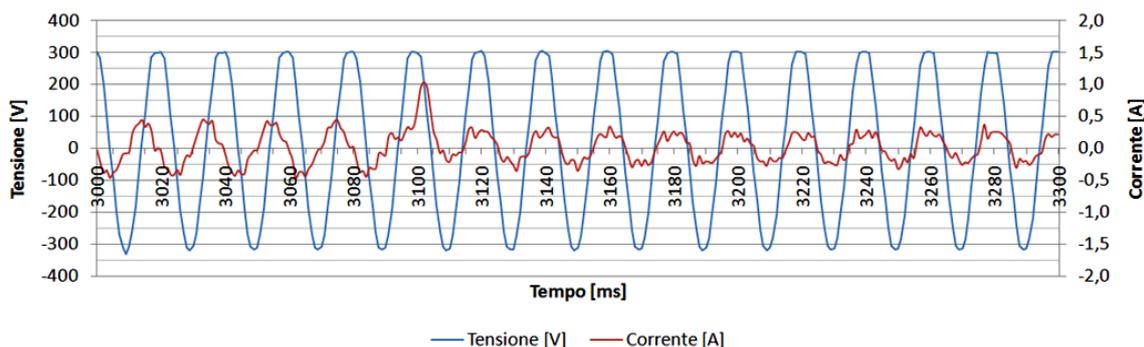


Figura 5.164 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee alla terza scarica (accensione).

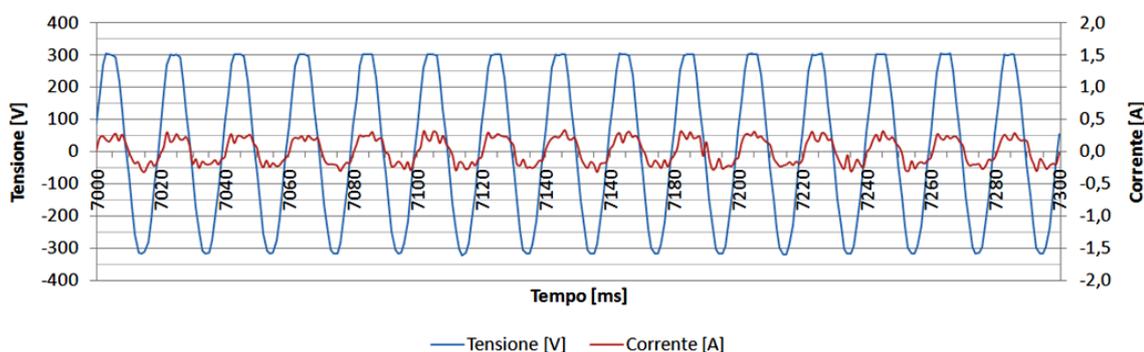


Figura 5.165 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.

5.15.3 Lampade a LED

Le lampade a LED sono senza dubbio il futuro dell'illuminazione, in quanto coniugano un ridottissimo consumo energetico ad una qualità del flusso luminoso buona e in continuo miglioramento, uniti a dimensioni notevolmente ridotte ed adattabili a qualsiasi geometria. Ma prima di parlare propriamente dei LED, acronimo di *Light Emitting Diode*, è opportuno presentare brevemente il principio di funzionamento di un diodo, poiché il LED è appunto un particolare diodo.

In generale, un diodo è un elemento che consente lo scorrere della corrente solo in una direzione. Un diodo ideale si comporta come un perfetto conduttore per la corrente che fluisce in una direzione (direzione polarizzata diretta) e come un perfetto isolante per la corrente che fluisce nell'altra direzione (direzione polarizzata inversa). Nella pratica, il diodo reale si approssima al diodo ideale poiché la corrente inversa è generalmente piccola.

Un diodo si realizza accoppiando due elementi, composti dallo stesso materiale semiconduttore (a struttura reticolare) ma drogati⁴⁷ diversamente, in modo da avere una zona N in cui vi è un eccesso di elettroni (carico negativo) e una zona P con un eccesso di "lacune" (carico positivo); questa configurazione prende appunto il nome di "giunzione P-N". In ognuno dei due casi, a livello globale il reticolo è neutro, ma appena messe in contatto le due parti si

⁴⁷ Il drogaggio di un semiconduttore consiste nell'aggiunta all'interno del reticolo cristallino di *impurità*, ovvero atomi con un numero di valenza diverso. Se l'elemento aggiunto ha una valenza (numero di protoni e quindi anche di elettroni) superiore, una quantità di elettroni pari alla valenza dell'elemento primario saranno impiegati nei legami covalenti, mentre quelli in eccesso saranno liberi di circolare; questo è un drogaggio di tipo N e l'elemento aggiunto è detto "donatore". Se invece l'elemento aggiunto ha valenza inferiore è detto "accettore" e gli elettroni mancanti per creare i legami lasceranno delle *lacune* si parla di drogaggio di tipo P.

ha nella zona di contatto un naturale flusso di elettroni da N verso P ed ognuno di essi, una volta migrato, va ad annullare una lacuna in modo da ripristinare correttamente i legami covalenti. In questa “zona di svuotamento”, quindi, aumenta progressivamente la carica positiva nella zona N dovuta alla perdita di elettroni, e in maniera uguale ed opposta aumenta la carica negativa nella zona P, creando una differenza di potenziale via via crescente. Il flusso di elettroni prosegue spontaneamente finché il campo elettrostatico formatosi raggiunge un livello tale da impedirne gli spostamenti: questa differenza di tensione si chiama “tensione di barriera” (o *band gap*). A questo punto, il flusso può proseguire solamente se al diodo viene applicata, tramite un generatore collegato ai due poli, una *f.e.m.* esterna superiore. Il collegamento al generatore di tensione può essere fatto in due modi, polarizzando la giunzione in senso diretto o inverso. Nel primo caso si favorisce il flusso di elettroni attraverso la zona limitrofa, mentre nel secondo si va ad aumentare la tensione di barriera impedendo di fatto la migrazione.

Veniamo ora al LED. Come abbiamo detto, esso è un diodo che ha in più la particolarità di emettere un raggio luminoso con una ben definita lunghezza d’onda. Questo accade perché, con la giunzione polarizzata direttamente e a seguito di una *f.e.m.* applicata, gli elettroni che passano nella zona P scendono da un livello energetico più alto (raggiunto proprio per superare la barriera elettrostatica) a uno più basso (quando si ricombinano con la rispettiva lacuna), liberando energia.

Poiché come è stato spiegato l’energia associata ad un fotone è circa equivalente a quella del *band gap*, ed essendo la prima strettamente legata alla lunghezza d’onda della radiazione emessa, ne deriva che proprio il valore del *band gap* determina il tipo di radiazione che si otterrà; se siamo nel campo del visibile ciò equivale a un particolare colore (l’energia in tal caso è liberata sotto forma di fotoni), ma anche altre lunghezze d’onda come ad esempio gli infrarossi possono essere utilizzate nei telecomandi.

Chiariti questi principi si può procedere vedendo come si comporta un LED sotto l’aspetto dell’alimentazione elettrica. Esso, a differenza delle lampade a filamento, è una sorgente a luce fredda e deve essere alimentato con corrente e tensione continue di valore molto basso (la corrente varia da 0,01 A a 1,4 A, la tensione da 2 a 4 V). Un accorgimento da prendere per evitare di danneggiare il LED è quello di metterlo in serie con una resistenza grande a sufficienza per ridurre la tensione al valore di funzionamento.

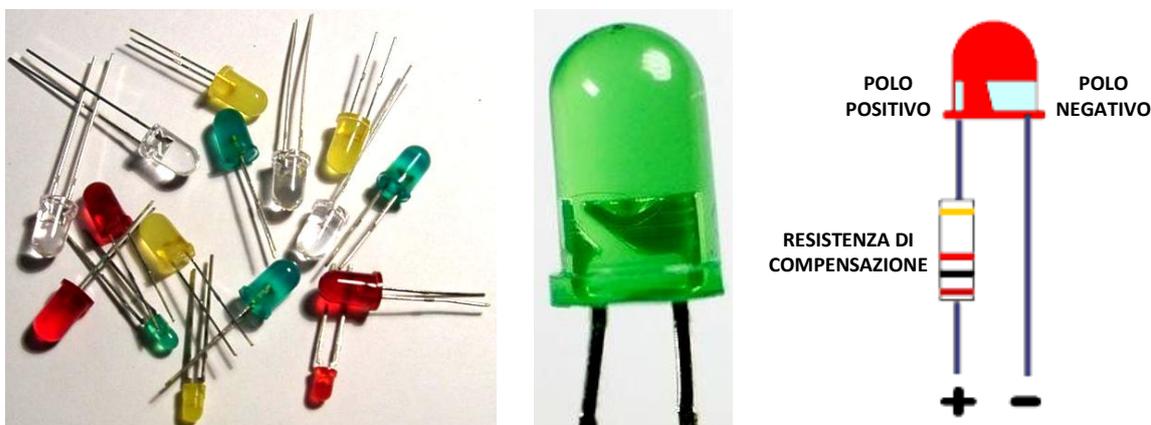


Figura 5.166 – Alcune immagini di lampade a LED e schema sintetico di realizzazione.

I parametri che influenzano l'intensità del flusso luminoso sono la temperatura e il valore di corrente diretta: esso infatti cala con l'aumentare della temperatura e con il diminuire della corrente. nelle applicazioni più semplici, visto che l'intervallo di temperatura è poco variabile e quindi poco influente, al fine di variare la luminosità è sufficiente regolare la tensione o la corrente di alimentazione.

Illuminare un ambiente o delle porzioni di esso sfruttando questa tecnologia offre numerosi vantaggi e pochissime controindicazioni. Tra i primi vi sono senz'altro una durata molto maggiore rispetto ad altre lampade, un'efficienza luminosa inferiore ad oggi solo alle fluorescenti (ma in continuo e rapido aumento, con una proiezione più che incoraggiante per l'immediato futuro) e la possibilità di gestire facilmente i colori e il *dimmeraggio* senza alterare le prestazioni o la vita utile; inoltre, poiché sono alimentati in bassissima tensione (12 o 24 V) e non contengono né mercurio né gas, non rappresentano un pericolo per la sicurezza e la salute delle persone. Gli unici svantaggi sono rappresentati da un lato dalle proprietà intrinseche del LED (la scarsità di flusso luminoso emesso rispetto alle altre lampade richiede l'impiego di un elevato numero di sorgenti per avere il medesimo effetto) e dall'altro dal fatto che, essendo un'applicazione recente, i costi di installazione per ora sono elevati e gli standard di progettazione degli apparecchi illuminanti sono ancora in fase di definizione. Con i primi ci si deve convivere ed adattarsi, gli altri invece si possono risolvere grazie alla sperimentazione e ad un'adeguata informazione.

Procediamo quindi con l'esposizione dei risultati dell'analisi. L'apparecchio luminoso monitorato è un tubo a LED, che esteriormente è del tutto simile ad una lampada fluorescente lineare da ufficio, ma che all'interno del tubo non contiene gas bensì una fila di LED collegati al proprio alimentatore. Per quanto riguarda i dati tecnici è sufficiente dire che la potenza complessiva dell'apparecchio è di 18 W, dei quali 14 W sono la potenza nominale della lampada e 4 W sono il consumo dell'alimentatore interno necessario a far funzionare le lampade.

Il profilo di assorbimento in valori efficaci è continuo e costante, come una resistenza normale (Figura 5.167), mentre la forma d'onda non è esattamente una sinusoidale; relativamente ai valori istantanei, infatti, sia all'accensione (Figura 5.168) sia a regime (Figura 5.169) la corrente presenta un elevato contenuto armonico dovuto ai componenti dell'alimentatore. Inoltre, sia all'accensione sia a regime l'assorbimento è il medesimo, senza subire quindi sovracorrenti istantanee come invece accade nelle lampade a filamento.

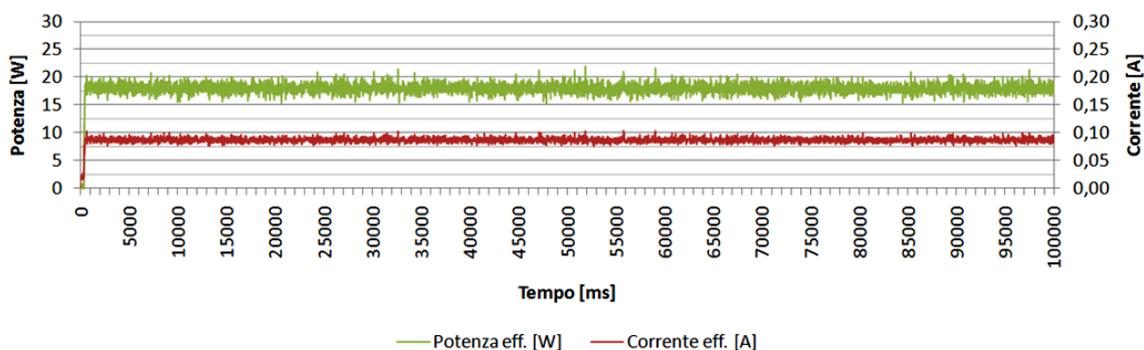


Figura 5.167 – Lampada a LED: andamento di potenza media e corrente efficace.

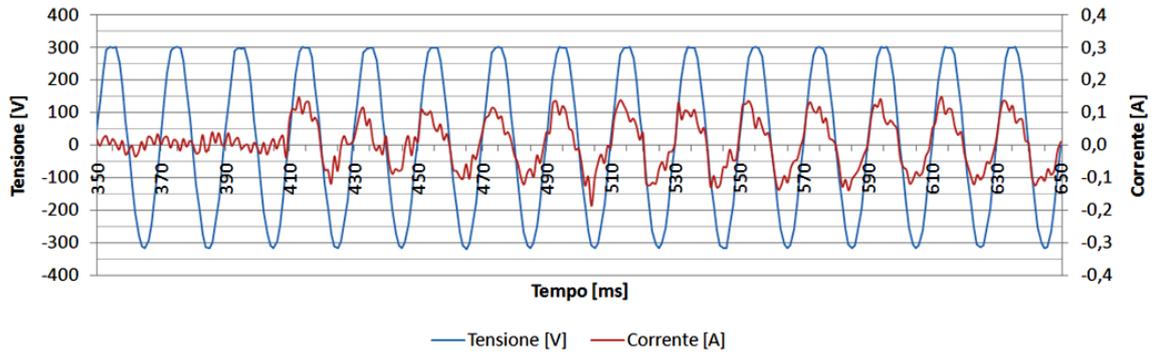


Figura 5.168 – Lampada a LED: andamento di tensione e corrente istantanee all'accensione.

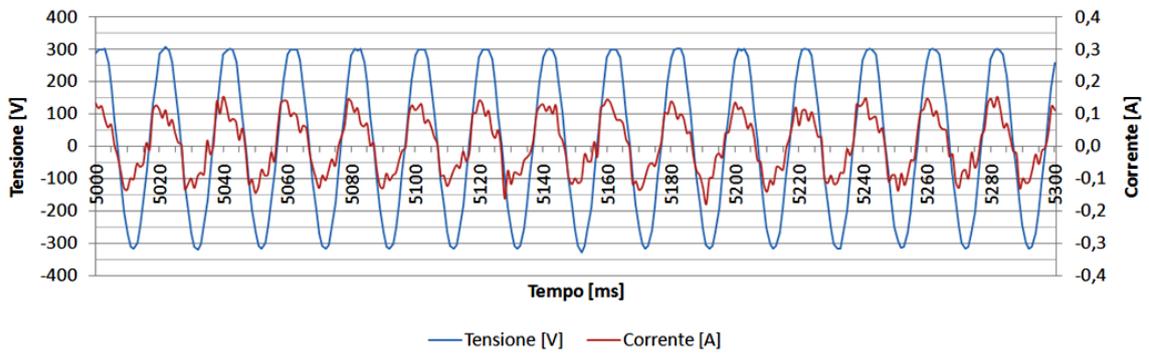


Figura 5.169 – Lampada a LED: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.

Capitolo 6

Proposta di una logica di gestione automatizzata dei carichi elettrici in ambito domestico

La parte finale di questo elaborato consiste nel provare a definire una logica gestionale capace di rilevare in tempo reale il funzionamento dell'allestimento elettrico di un ambiente (nello specifico un'abitazione) e decidere in maniera autonoma quali carichi possano rimanere attivi e quali invece siano interrompibili qualora si verificassero condizioni di sovraccarico energetico. I criteri su cui ci si è basati per la valutazione di ogni apparecchio sono sostanzialmente due: la potenza massima richiesta e la criticità di una possibile interruzione dell'alimentazione, valutati entro determinati intervalli di tempo. Il secondo, in particolare modo, può ricondursi in maniera diretta all'integrazione in un sistema domotico; nel caso di apparecchi "intelligenti" collegati in rete, infatti, sarebbe possibile inviare comandi di "start/stop" o "pausa" direttamente alla periferica in questione senza dover necessariamente intervenire sull'alimentazione elettrica. Nel nostro caso, però, ci si limita a considerare il caso più generale di impianto elettrico tradizionale, in quanto pone delle problematiche aggiuntive ed è quindi più interessante da affrontare.

L'analisi portata avanti nelle righe a seguire è quindi suddivisa in tre parti; nella prima si caratterizzano separatamente i cicli di lavoro, o comunque le fasi salienti per gli apparecchi non ciclici, in modo da capire individualmente quali siano, in relazione al servizio fornito, gli effetti di una interruzione improvvisa dell'alimentazione; nella seconda parte, tutte le valutazioni fatte in precedenza vengono sovrapposte in modo da essere messe in relazione l'una con l'altra dando così origine ad un sistema coordinato di gestione delle priorità. A conclusione del capitolo viene fatta una simulazione semplificata su una settimana, in modo da rendere maggiormente chiaro come funziona questo sistema.

6.1 Valutazioni sull'alimentazione elettrica dei singoli apparecchi

L'analisi in questo senso inizia col prendere conoscenza della interrompibilità o meno dell'utilizzo di ogni elettrodomestico, in modo da capire innanzitutto quali siano le conseguenze nel momento in cui, durante il normale funzionamento, dovesse venire meno l'alimentazione elettrica. Come è possibile immaginare, per quegli apparecchi con poca elettronica quali un phon o un ferro da stiro il problema è minore rispetto agli altri più tecnologici (un computer, ad esempio). Nei circuiti dei primi, infatti, vengono eseguiti processi più elementari indipendenti dal tempo e non vi sono serie di operazioni programmate. Infatti se si considera l'eventuale disattivazione della resistenza in particolari condizioni (può essere un ferro da stiro o un forno elettrico) ci si accorge che il controllo in questo senso avviene in tempo reale e non in maniera programmata, mentre il funzionamento di una lavastoviglie è chiaramente composto da una successione temporale di operazioni precedentemente definite a partire dal "tempo 0" di pressione del pulsante START.

Per questo motivo, prima di proiettarsi verso un controllo combinato è essenziale capire dove e in che modo si può intervenire per ogni singolo caso.

Frigocongelatore e congelatore

Questi apparecchi non hanno un funzionamento propriamente ciclico, o meglio, le operazioni svolte si alternano in maniera ripetitiva, ma non sono dettate da impostazioni programmate bensì variabili in relazione alle condizioni al contorno: una volta impostata una temperatura di set-point, infatti, al variare della temperatura interna del compartimento (a sua volta dipendente da quella dell'ambiente esterno) si può attivare o meno il compressore. Quindi, non interrompendo particolari processi delicati a seguito di una mancata erogazione di energia elettrica, si può dire che in ogni momento questi due carichi sono disattivabili senza subire danneggiamenti. L'unico scrupolo che bisogna avere, però, sta nella ripresa dell'alimentazione: a causa delle condizioni cui è sottoposto lo stantuffo del compressore, una volta interrotto il suo movimento è indispensabile attendere un periodo sufficientemente lungo per riportare la pressione al minimo; infatti, facendo partire il pistoncino da fermo e con il gas in pressione si rischierebbe di sovraccaricare il motore e danneggiarlo seriamente.

A proposito dell'alimentazione si può quindi dire che: dall'avvio e per 1 s il carico non è interrompibile in quanto per sicurezza è meglio che il circuito raggiunga almeno la pressione di lavoro; inoltre, una volta scollegato il carico è opportuno attendere fino alla depressurizzazione del vano di compressione, ossia per un tempo di circa 2 minuti. Generalizzando, si può dire che la zona critica è compresa sicuramente nel primo 5% di funzionamento rispetto a un ciclo di raffreddamento. Riguardo alla durata dei cicli, per il frigorifero sono stati monitorati circa 20 minuti di funzionamento e 40 di pausa, mentre per il congelatore circa 17 minuti di funzionamento e 13 di pausa; nei grafici seguenti, poiché il funzionamento successivo allo spunto del compressore è costante, per meglio visualizzare la parte iniziale sono riportati solo i primi secondi di funzionamento.

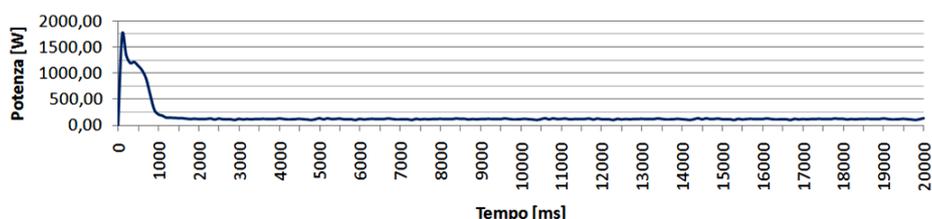


Figura 6.1 – Frigocongelatore: profilo di carico per i primi 20 s.

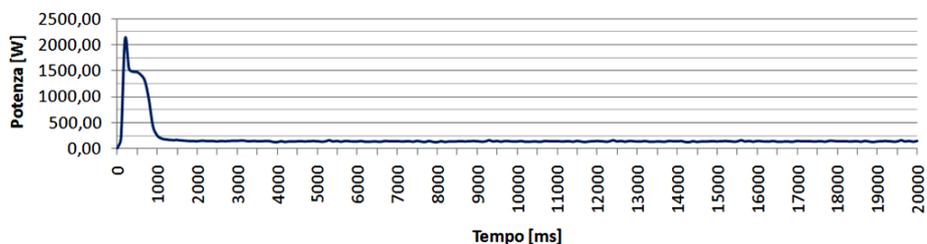


Figura 6.2 – Congelatore: profilo di carico per i primi 20 s.

Forno elettrico

Il forno elettrico è ancora più semplice da gestire rispetto ai due elettrodomestici appena visti: esso infatti è una semplice resistenza necessaria a fornire calore per radiazione diretta o

convezione, quindi una improvvisa interruzione del flusso di corrente comporterebbe solamente un calo progressivo della temperatura. L'unico inconveniente potrebbe essere all'uso finale: sia con un timer di cottura analogico sia con uno digitale si potrebbero avere delle incongruenze tra il tempo di cottura impostato e quello reale, poiché nel primo caso il timer proseguirebbe indipendentemente dall'alimentazione elettrica, e nel secondo si resetterebbe perdendo l'informazione sul tempo già trascorso. Tuttavia, sinteticamente si può affermare che il forno elettrico è un carico interrompibile in qualsiasi momento.

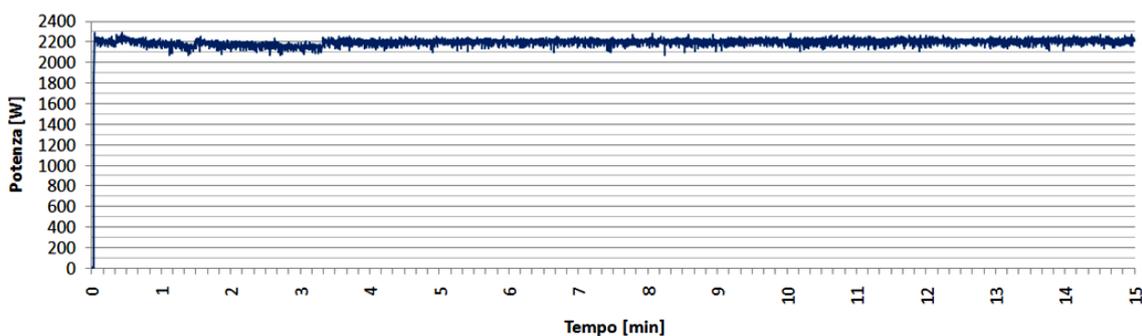


Figura 6.3 – Forno elettrico: profilo di carico per i primi 15 minuti.

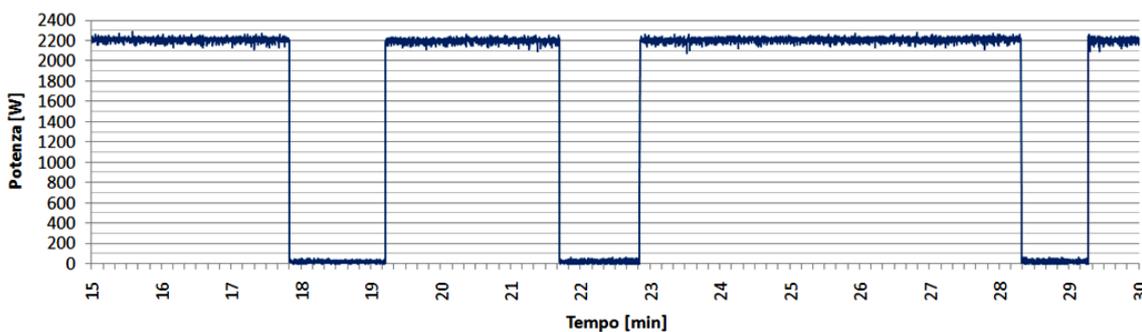


Figura 6.4 – Forno elettrico: profilo di carico da 15 a 30 minuti.

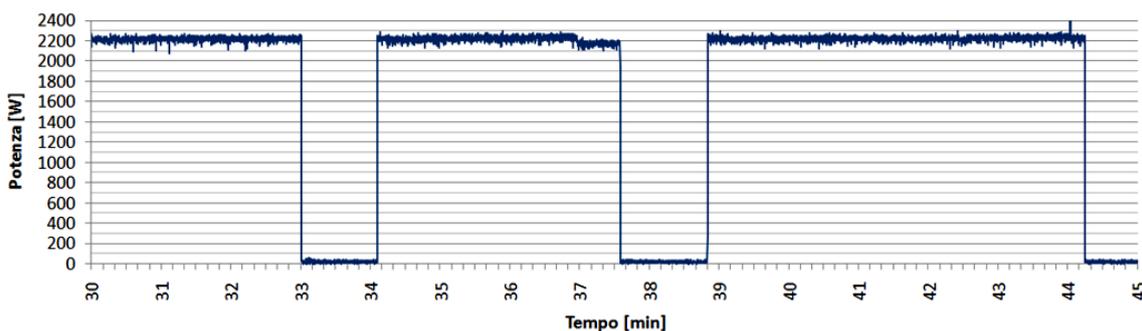


Figura 6.5 – Forno elettrico: profilo di carico da 30 a 45 minuti.

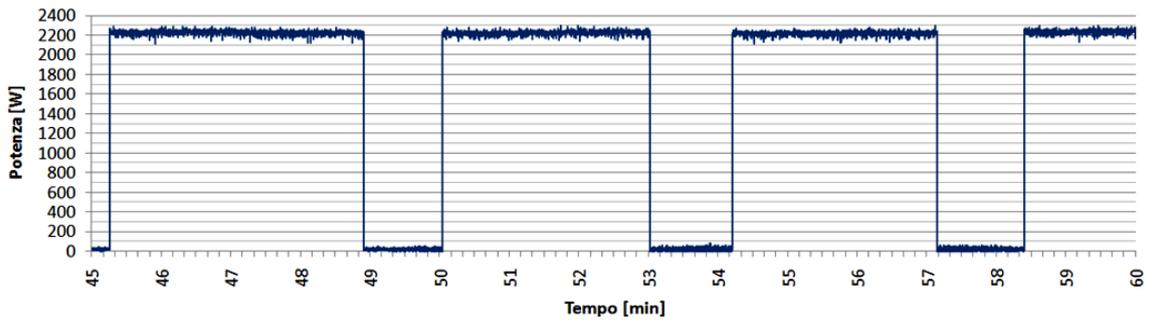


Figura 6.6 – Forno elettrico: profilo di carico da 45 a 60 minuti.

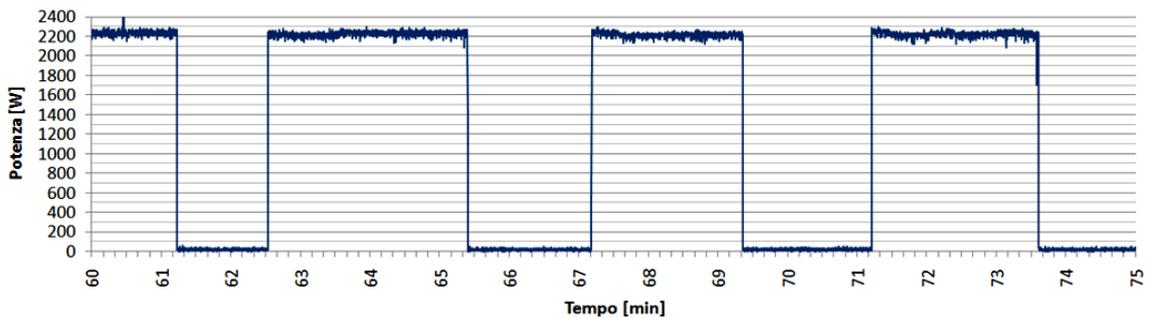


Figura 6.7 – Forno elettrico: profilo di carico da 60 a 75 minuti.

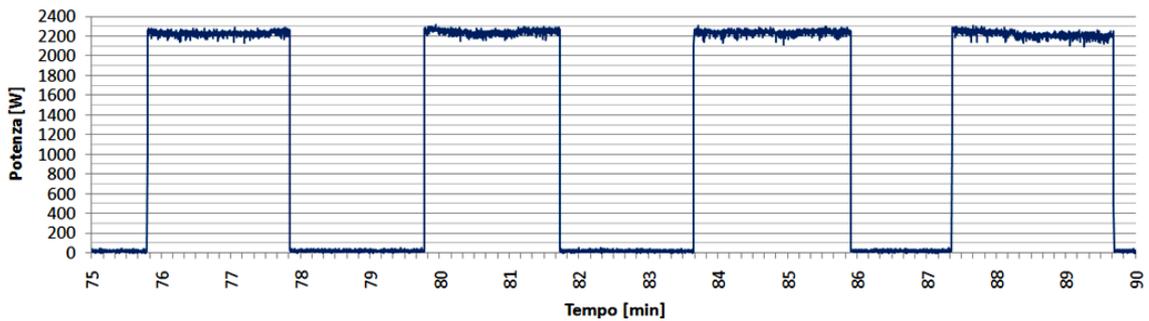


Figura 6.8 – Forno elettrico: profilo di carico da 75 a 90 minuti.

Forno a microonde

Il forno a microonde, come abbiamo potuto appurare dalla trattazione nel capitolo precedente, è completamente diverso rispetto al forno elettrico tradizionale. Fatta eccezione per il funzionamento in modalità “grill”, del tutto simile al forno comune, in modalità “microonde” si ha a che fare con un magnetron. Poiché i tempi di cottura consentiti non hanno particolari limitazioni, si può dire che anche questo carico non presenta vincoli di continuità di alimentazione.

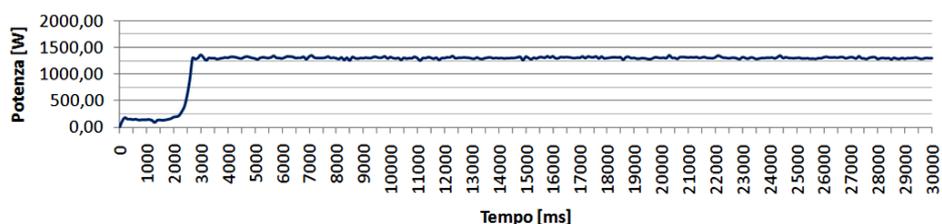


Figura 6.9 – Forno a microonde: profilo di carico per i primi 30 s (modalità “High”).

Piano ad induzione

Il piano ad induzione, nonostante sia un'importante innovazione in relazione alla funzione svolta, si basa su un principio di funzionamento estremamente semplice e di fatto poco sensibile ad interruzioni impreviste del flusso di corrente. Per questo motivo, dal punto di vista puramente tecnico è da considerarsi interrompibile in qualsiasi punto del ciclo senza dover temere conseguenze riguardo la sua integrità di funzionamento; l'unico problema sarà legato al servizio offerto, ma questo è un aspetto trattato più avanti.

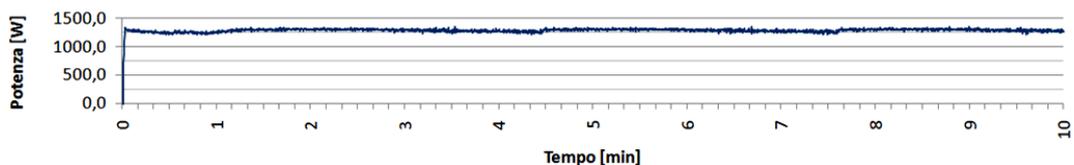


Figura 6.10 – Piano ad induzione: profilo di carico per i primi 10 minuti di cottura per un pasto comune.

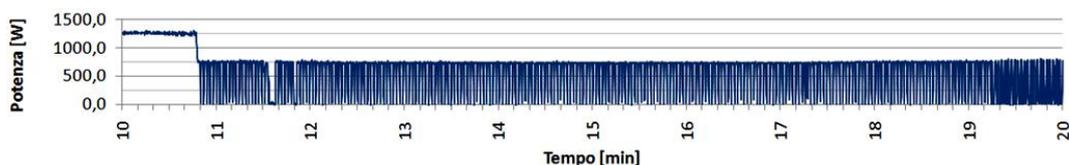


Figura 6.11 – Piano ad induzione: profilo di carico da 10 a 20 minuti di cottura per un pasto comune.

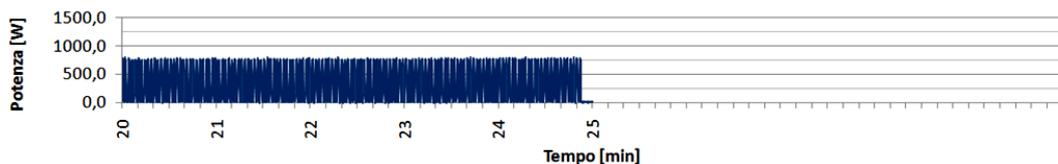


Figura 6.12 – Piano ad induzione: profilo di carico da 20 a 25 minuti di cottura per un pasto comune.

Ferro da stiro

Come per il forno elettrico, il discorso è analogo per il ferro da stiro. Essendo infatti anch'esso una semplice resistenza necessaria a fornire calore non vi è alcuna problematica nel distaccarla bruscamente dalla rete elettrica, in particolar modo quando il ferro è già in temperatura.

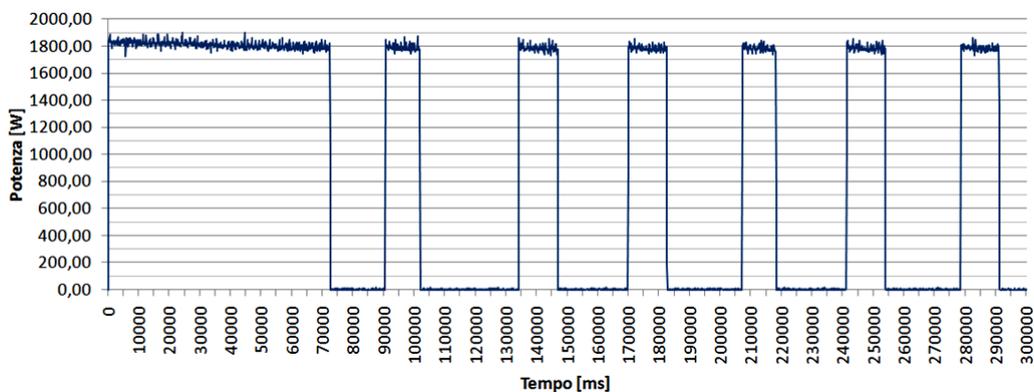


Figura 6.13 – Ferro da stiro: profilo di carico per i primi 5 minuti.

Lavabiancheria

In questo caso la situazione cambia parecchio in quanto si ha a che fare con dei veri e propri cicli impostati elettronicamente, e un'eventuale distacco totale dell'alimentazione causerebbe una perdita di dati integrale (fatta eccezione per alcuni parametri come l'ora e la data salvati in una memoria interna alimentata a batterie). Per questo motivo bisogna pensare a limitare il più possibile i danni, sia ai circuiti sia al funzionamento finale, ponendo degli opportuni vincoli.

Premettendo che in ogni caso è scorretto "staccare la spina" agli apparecchi elettronici prima che essi stessi arrestino la totalità delle istruzioni impostate, proviamo a definire dei limiti virtuali che fungano da compromesso tra la salvaguardia dei componenti interni e il risparmio energetico a livello globale.

Se infatti ci riferiamo ad un ciclo di lavaggio come quello presentato al capitolo precedente, e prendiamo come esempio le medesime fasi, si possono trovare soluzioni in base a più approcci:

- dal punto di vista strettamente legato alla componentistica, il carico in questione non è interrompibile fino a conclusione del ciclo;
- dal punto di vista della logica di lavaggio, se si disponesse di un dispositivo con memoria e capace di riprendere il ciclo dal punto esatto in cui è stato interrotto, non vi sarebbe alcun problema a staccare l'alimentazione in qualsiasi momento;
- dal punto di vista del risparmio energetico è opportuno fare in modo che una ripresa del funzionamento in seguito ad un improvvisa interruzione non sia più dispendiosa che il funzionamento continuo fino a fine ciclo.

Il nocciolo della questione sta ora nel riuscire a trovare un compromesso che metta d'accordo tutti e tre questi aspetti. Per semplificarci la vita e facendo riferimento al caso visto in sede di analisi, consideriamo la situazione di un apparecchio senza memoria interna. In questo caso, secondo la logica di lavaggio abbiamo libera scelta, mentre dal punto di vista del risparmio (non solo energetico ma anche di acqua) e della salvaguardia dell'apparecchio si è ritenuto opportuno ipotizzare una prima fase, interrompibile in ogni momento, che va da inizio ciclo fino a fine lavaggio (prima dello scarico dell'acqua), e una seconda non più interrompibile che prosegue dallo scarico dell'acqua fino a fine ciclo.

Questa separazione è stata fatta in considerazione del fatto che, se interrompendo il ciclo questo dovesse riprendere dall'inizio una volta ripristinato il collegamento elettrico, si ripartirebbe ogni volta dal carico dell'acqua fino al raggiungimento del livello prestabilito (comunque parecchi litri, a prescindere dal programma scelto). Il ragionamento è quindi quello per limitare al minimo i carichi di acqua ad un eventuale ripartenza. Facendo in questo modo, infatti, qualora dovesse essere tolta l'alimentazione in un qualsiasi punto della prima fase, l'acqua caricata complessivamente sarebbe la stessa che in condizioni standard (essendo gestita da un livello automatico, verrebbe caricata solo la quantità eventualmente mancante); nella "peggiore" delle ipotesi, poi, si ripeterebbe il ciclo di lavaggio, ovvero l'unico energeticamente influente, che comunque avrebbe l'effetto di ottenere capi più puliti senza passare quindi per energia sprecata. A partire dallo scarico, invece, si ha uno svuotamento della vasca per il successivo riempimento finalizzato al risciacquo, e un'interruzione in questo punto farebbe ripetere inutilmente il carico iniziale per il lavaggio (tra l'altro senza detersivo, quindi non sarebbe neanche un vero lavaggio e l'energia assorbita sarebbe realmente superflua).

Nello specifico, poiché non ha senso utilizzare elevate approssimazioni per un criterio generale, ci limitiamo a dire che per un tipo di ciclo simile a quello monitorato il punto di

separazione tra le due fasi si può inserire a circa 20 minuti, il che può essere paragonato a circa il 30% dell'intero ciclo.

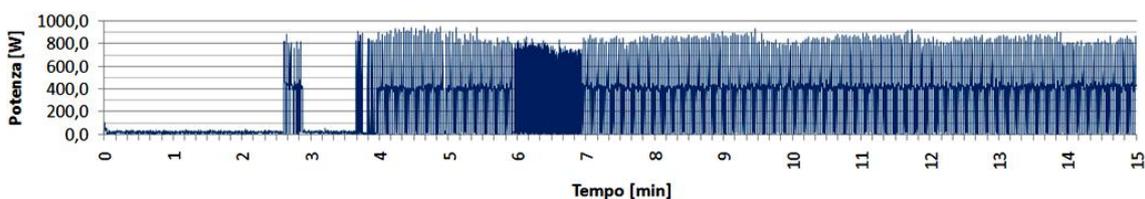


Figura 6.14 – Lavabiancheria: profilo di carico per i primi 15 min.

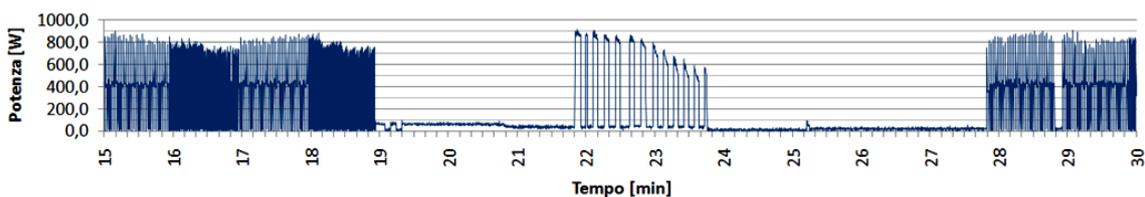


Figura 6.15 – Lavabiancheria: profilo di carico da 15 a 30 min.

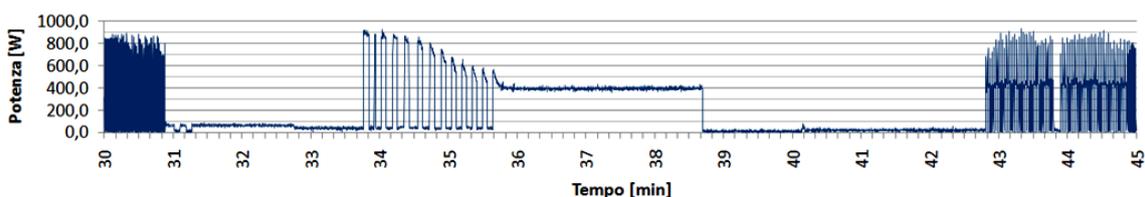


Figura 6.16 – Lavabiancheria: profilo di carico da 30 a 45 min.

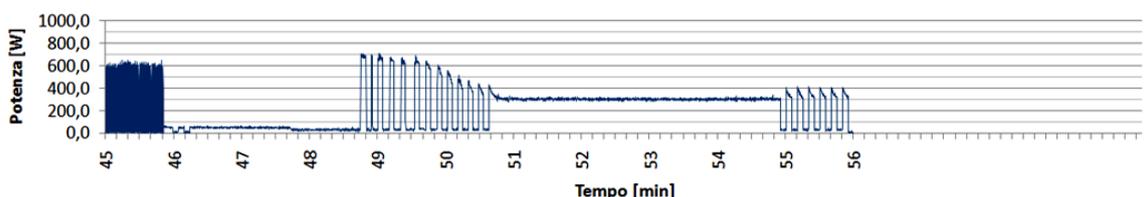


Figura 6.17 – Lavabiancheria: profilo di carico da 45 min a fine ciclo.

Asciugatrice

L'asciugatrice, come è emerso dalle analisi, è costituita da due motori e una resistenza con funzione scaldante. Il ciclo di lavoro poi si compone di una unica serie di operazioni che si ripetono a cadenza regolare fino ad esaurimento del tempo impostato. L'apparecchio nello specifico non possiede una memoria del tempo trascorso da inizio ciclo, quindi il distacco del carico durante il funzionamento causerebbe il reset delle impostazioni, rendendo necessaria la ripresa dell'asciugatura. Per questo motivo, visto che verso la fine del programma (più o meno nell'ultimo 10%) il funzionamento è quasi "a freddo", si può definire il carico non interrompibile dall'inizio fino a questo momento, e interrompibile da qui in poi.

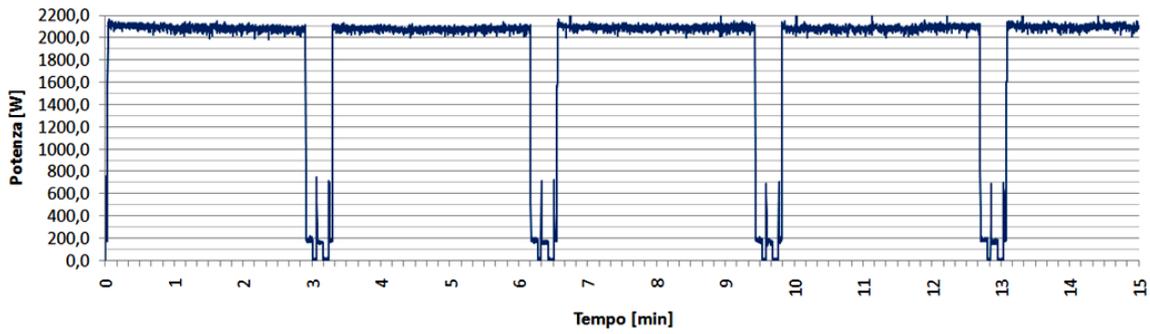


Figura 6.18 – Asciugatrice: profilo di carico per i primi 15 min.

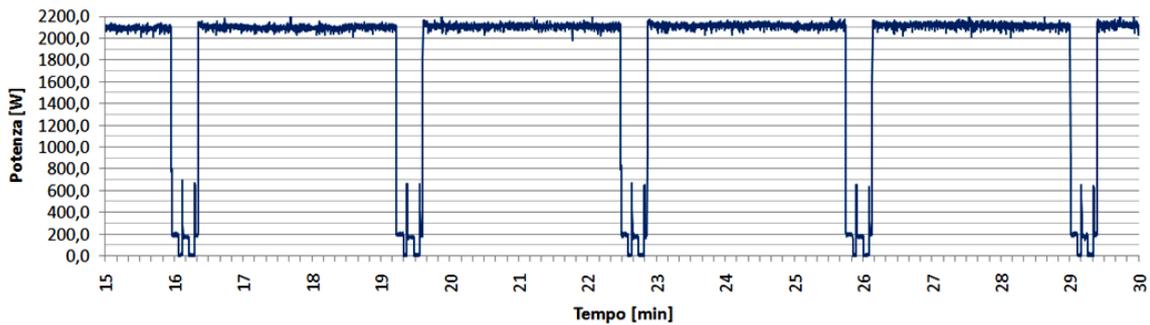


Figura 6.19 – Asciugatrice: profilo di carico da 15 a 30 min.

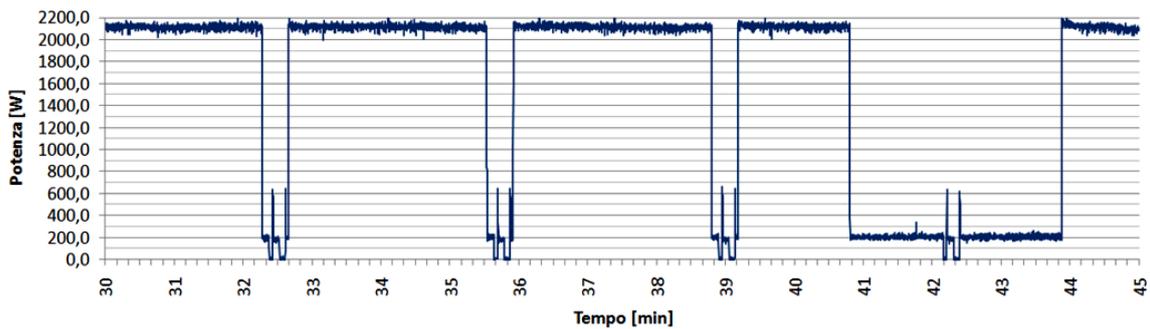


Figura 6.20 – Asciugatrice: profilo di carico da 30 a 45 min.

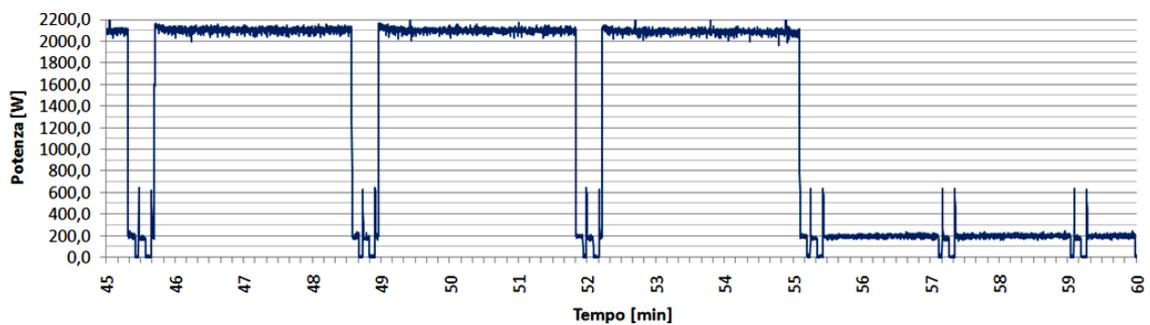


Figura 6.21 – Asciugatrice: profilo di carico da 45 min a fine ciclo.

Lavastoviglie

Il discorso della lavastoviglie è del tutto analogo a quello fatto per la lavabiancheria, in quanto le fasi di lavaggio e risciacquo con relativi carichi e scarichi di acqua si susseguono in

maniera simile. Considerando anche in questo caso un apparecchio generico non dotato di memoria interna, quindi, è stata avanzata l'ipotesi di suddividere l'intero ciclo in due fasi, una interrompibile e una non interrompibile, e, per gli stessi motivi, il limite tra la prima e la seconda è stato collocato prima della fase di scarico successiva al lavaggio; per il ciclo in esame vuol dire circa 13 minuti, generalizzando si può approssimare al 45% del totale.

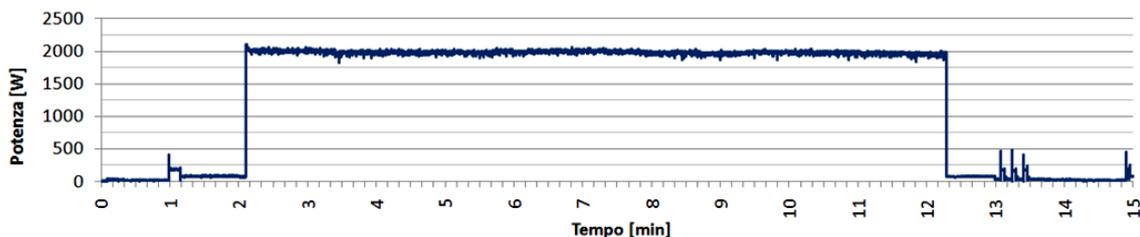


Figura 6.22 – Lavastoviglie: profilo di carico da inizio ciclo a 15 min.

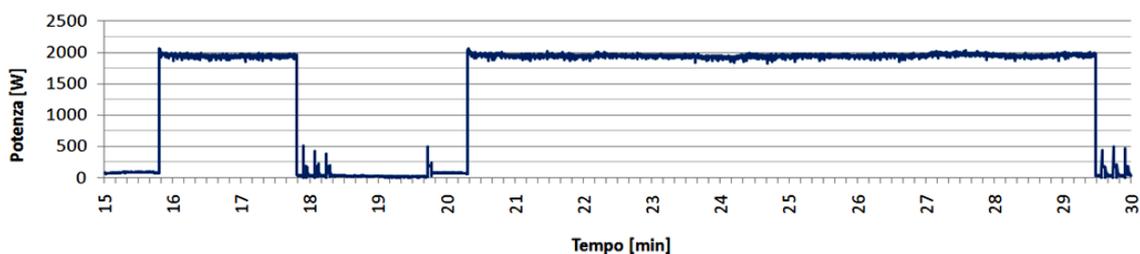


Figura 6.23 – Lavastoviglie: profilo di carico da 15 min a fine ciclo.

Televisore a tubo catodico

Per quanto riguarda il televisore a tubo catodico, i ragionamenti da fare sono pochi ma sicuramente di più rispetto ad un più moderno apparecchio LCD o a LED, quindi il discorso fatto ora può essere adattato in maniera semplificata.

Nel capitolo precedente abbiamo visto che, a partire dall'accensione, i primi istanti di funzionamento registrano un notevole carico elettrico dovuto alla smagnetizzazione dello schermo, processo che avviene dopo una frazione di secondo dal comando di accensione. Nonostante la TV non abbia particolari vincoli dovuti ad operazioni programmate, si è pensato lo stesso di definire un certo periodo di tempo iniziale in cui il carico è preferibilmente non interrompibile; questo periodo va dall'istante dell'accensione fino alla completa smagnetizzazione dello schermo, ovvero circa 1 s, dopodiché il carico può tranquillamente essere distaccato in ogni momento.

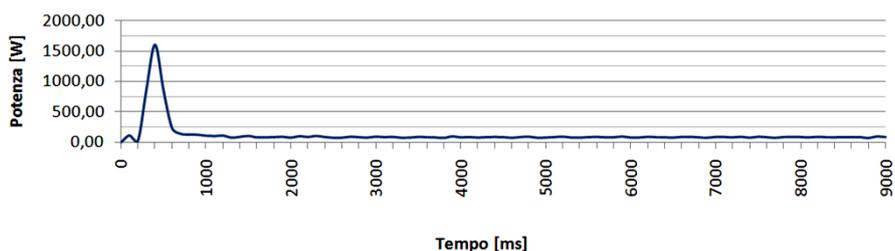


Figura 6.24 – Televisore: profilo di carico dall'avvio e per qualche secondo.

Notebook

Il computer portatile, come anche quello fisso, non ha un ciclo di lavoro confinato ma ha comunque al suo interno un gran numero di circuiti e dispositivi elettronici molto delicati come ad esempio l'hard disk. Una volta acceso, infatti, questo dispositivo necessita di un certo tempo per caricare tutti i dati e le impostazioni necessarie al normale funzionamento, e allo stesso modo, per spegnerlo bisogna eseguire appositi comandi in modo che il computer stesso esegua correttamente le operazioni di arresto.

È anche vero che a volte, se si lavora collegati alla rete elettrica senza la batteria inserita, può avvenire uno scollegamento brusco e accidentale del cavo provocando lo spegnimento istantaneo dell'apparecchio (con conseguente perdita dei dati non salvati). Questo evento non è particolarmente tragico per il computer in sé, ma non è neanche benefico e sicuramente è tra le cose da evitare, perché alla lunga si potrebbero anche avere conseguenze più gravi.

A fronte di questi ragionamenti, nel caso limite si potrebbe anche dire che il carico è interrompibile in ogni momento, ma a tutela dei componenti interni optiamo per un vincolo di continuità una volta avviato, con l'obbligo di spegnerlo manualmente secondo procedura.

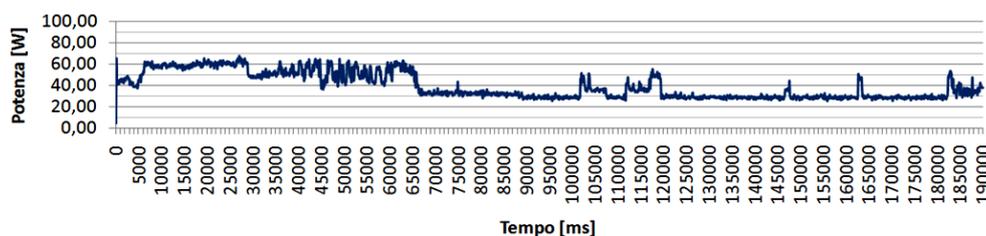


Figura 6.25 – Notebook: profilo di carico dall'avvio e per qualche minuto.

Phon

L'ultimo elettrodomestico che vediamo è il phon, ossia l'asciugacapelli. La trattazione in questo senso è molto semplice, infatti si tratta semplicemente di uno strumento azionato da un motore e da una resistenza termica, l'uno che regola la velocità e l'altro la temperatura di erogazione del getto d'aria. Quindi il carico in questione è a pieno titolo interrompibile in qualsiasi momento, senza causare danneggiamenti all'apparecchio stesso.

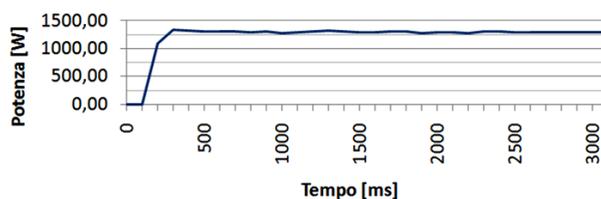


Figura 6.26 – Phon: profilo di carico dall'avvio e per qualche secondo.

Sintesi

Riassumiamo brevemente le conclusioni cui siamo giunti alla fine di questo paragrafo, in modo da avere un quadro facilmente consultabile.

ELETTRODOMESTICO	AVVIO	REGIME
Frigocongelatore*	Non interrompibile (per circa 1 s)	Interrompibile
Congelatore verticale*	Non interrompibile (per circa 1 s)	Interrompibile
Forno elettrico	Interrompibile	Interrompibile
Forno a microonde	Interrompibile	Interrompibile
Piano ad induzione	Interrompibile	Interrompibile
Ferro da stiro	Interrompibile	Interrompibile
Lavabiancheria	Interrompibile	Interrompibile fino ad inizio scarico, poi non interrompibile
Lavastoviglie	Interrompibile	Interrompibile fino ad inizio scarico, poi non interrompibile
Asciugatrice	Interrompibile	Non interrompibile fino alla fine dell'asciugatura a caldo, poi di nuovo interrompibile
TV a tubo catodico	Non interrompibile (per circa 1 s)	Interrompibile
Notebook	Non interrompibile	Non interrompibile
Phon	Interrompibile	Interrompibile
* Si raccomanda di attendere, prima della ripresa dell'alimentazione, un periodo di circa 2-3 minuti.		

Tabella 6.1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche di continuità di carico dei vari elettrodomestici.

6.2 Definizione di un criterio di distacco selettivo

Una volta giunti alle considerazioni viste in precedenza (vedi *Tabella 6.1*), il passo successivo è stato quello di ordinare i vari elettrodomestici in funzione dell'importanza del servizio offerto, privilegiando quelli essenziali come il frigorifero e posizionando in fondo alla lista le utenze generiche o quelle utilizzabili senza problemi in altri momenti. Così facendo si fa una prima selezione, approfondendo poi il discorso entrando all'interno dei singoli cicli. L'elenco in *Tabella 6.2* riporta appunto le utenze monitorate in questa sede, ordinandole dalla più importante a quella meno importante.

1) illuminazione	7) forno a microonde
2) frigocongelatore	8) lavatrice
3) congelatore	9) lavastoviglie
4) piano ad induzione	10) asciugatrice
5) forno elettrico	11) ferro da stiro
6) TV	12) altri

Tabella 6.2 – Elenco degli elettrodomestici in ordine di priorità di servizio a partire dal più importante.

Vediamo quindi quali ragionamenti hanno condotto a questa sequenza.

Per ovvi motivi, l'illuminazione è il primo servizio in ordine di importanza in quanto essenziale. Quasi alla pari sono stati posti il frigorifero e il congelatore, in quanto il loro funzionamento continuo è fondamentale per la giusta conservazione dei cibi, i quali, qualora rimanessero per troppo tempo alla temperatura ambiente senza essere consumati, perderebbero la loro salubrità e andrebbero buttati via. A seguire vi è l'altro servizio primario, ovvero la cucina; in questo caso si è considerato un piano ad induzione in quanto rappresenta un carico elettrico, a differenza di quelli tradizionali a gas, e un domani potrebbe diventare la scelta privilegiata per le nostre cucine. Nonostante gli assorbimenti potenzialmente molto elevati, ma comunque variabili in base al tipo di cottura, questo carico è sicuramente prioritario rispetto agli altri e meno importante solo di frigo e congelatore, anche perché il suo utilizzo massiccio è limitato alle ore dei pasti, in cui tendenzialmente non si fanno alte attività parallele.

Gli apparecchi successivi sono rappresentati dal forno elettrico e dal televisore. Questo perché, in base alla frequenza di utilizzo e all'importanza percepita del servizio offerto, essi possono essere visti come equamente importanti; inoltre, a giudicare dagli assorbimenti a regime, questi possono funzionare assieme anche con una potenza disponibile di 3 kW, a parte eventualmente all'accensione della TV in cui si staccerebbe il forno per pochi secondi senza ripercussioni sulla cottura. Come la TV, anche il forno ha una priorità costante, in quanto nonostante l'alimentazione vari in funzione della temperatura (potenza massima in fase di riscaldamento, potenza nulla al raggiungimento della temperatura), rispetto ai 5 minuti presi come unità temporale in questa sede la potenza media è poco variabile.

Il forno a microonde è stato collocato dietro la TV in quanto non offre proprio un servizio essenziale: esso è infatti un surrogato dei fornelli tradizionali, solitamente usato per riscaldare le pietanze in poco tempo e raramente per cuocere.

Gli altri elettrodomestici a ciclo, ovvero la lavatrice, la lavastoviglie e l'asciugatrice, sono stati ritenuti meno prioritari rispetto ad esempio al microonde a causa della durata di utilizzo. Poiché infatti il microonde viene usato solitamente per brevi periodi, ha più senso relativamente alla percezione di comodità interrompere un ciclo di lavaggio (rispettando però alcuni vincoli che vedremo più avanti) piuttosto che dover aspettare magari un'ora e oltre per scaldarsi una tazza di the. Entrando nel merito di questi tre elettrodomestici, l'asciugatrice è stata ipotizzata meno importante degli altri due, subito dopo la lavastoviglie. Quest'ultima ha una priorità intermedia poiché il suo utilizzo è tendenzialmente localizzato a fine giornata, nelle ore in cui la maggior parte delle attività domestiche è ormai finita e ci si dedica principalmente al relax, magari guardando la TV o navigando in internet (operazioni poco energivore), riducendo quindi al minimo il rischio di una sovrapposizione con carichi consistenti.

In fondo ad essi è collocato il ferro da stiro, in quanto in base all'ordine logico di utilizzo è l'ultimo dopo l'asciugatrice (e in teoria dovrebbe essere improbabile un suo uso contemporaneo con essa), ma comunque meno urgente rispetto ad un ciclo di lavastoviglie.

L'ultima posizione spetta per ovvi motivi agli utilizzi generici, innanzitutto perché è difficile definire per ognuno di essi un punto fisso di prelievo, che vorrebbe dire avere una moltitudine di prese controllate sparse per casa, con costi di una certa consistenza, e poi perché offrono servizi non di prima necessità legati per lo più ad esigenze individuali. Questa categoria è stata inserita proprio per includere genericamente tutti gli altri apparecchi elettrici diversi da quelli essenziali, ma ciò non toglie in alcun modo al proprietario dell'immobile la possibilità di considerare a parte utilizzatori come ad esempio il phon o l'aspirapolvere, assegnando ad essi priorità differenti.

Il passo successivo a quanto visto finora consiste nel definire, per ogni utenza e per ogni fase significativa del relativo ciclo (che può essere una sola o più di una) una priorità assoluta rappresentata da un valore numerico compreso tra 0,5 e 10, crescente in proporzione all'importanza del carico da alimentare. L'obiettivo è quindi quello di condensare in un grafico l'andamento e le eventuali variazioni che subisce la priorità di ogni elettrodomestico, visualizzando in maniera semplificata quale sia, in ogni momento, l'ordine che il sistema di gestione automatica segue per distaccare i carichi qualora si superi la soglia di potenza imposta. Da quanto detto si capisce che la priorità assegnata ad ogni utenza non è necessariamente costante, in quanto essa dipende molto anche dalla tipologia del ciclo di funzionamento. Ogni elettrodomestico infatti funziona in modo differente, alcuni si interrompono semplicemente quando l'utente lo ritiene opportuno, altri invece sono identificati da più operazioni pianificate e scandite da appositi timer. Inoltre, come abbiamo visto nel primo paragrafo di questo capitolo, interrompere il funzionamento di alcuni elettrodomestici in certi momenti è controproducente in quanto, anziché offrire un risparmio energetico, provoca solamente sprechi di energia e spesso anche di acqua.

In relazione a quanto contenuto nella *Tabella 6.1* vista in precedenza, alcuni apparecchi presentano dei cicli di lavoro a priorità variabile in funzione del tempo progressivo di funzionamento. La *Tabella 6.3* e il grafico in *Figura 6.27* riassumono dunque quanto detto finora, esplicitando per ogni 5% di completamento del ciclo il relativo grado di importanza e la potenza di riferimento di ogni elettrodomestico, in modo da poter fare già a priori una stima dell'energia consumata in base alla combinazione dei carichi attivi in determinati periodi.

La potenza usata come riferimento per il procedimento di simulazione è la potenza media misurata durante la campagna di monitoraggio. Per quanto riguarda invece la durata dei vari cicli e la conseguente ripartizione percentuale si sono usati i seguenti valori, alcuni dei quali realmente misurati, altri ipotizzati in maniera verosimile:

- luce = (indifferente)
- frigocongelatore = 20 min (il ciclo monitorato);
- congelatore = 12 min e 30 s (il ciclo monitorato);
- piano ad induzione = 25 min;
- forno elettrico = 1 h e 30 min;
- TV = 2 h;
- microonde = 10 min;
- lavabiancheria = 56 min (il ciclo monitorato);
- asciugatrice = 60 min (il ciclo monitorato);
- ferro da stiro = 2 ore e 30 min;
- lavastoviglie = 30 min (il ciclo monitorato).

Tempo progressivo	Illuminazione		Frigocongelatore		Congelatore		Piano ad induzione	
	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]
0-5%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	139	9,5	157	9,0	1238
5-10%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	126	10,0	137	9,0	1299
10-15%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	125	10,0	138	9,0	1286
15-20%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	125	10,0	137	9,0	1278
20-25%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	124	10,0	137	9,0	1297
25-30%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	125	10,0	137	9,0	1273
30-35%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	126	10,0	138	9,0	1295
35-40%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	126	10,0	138	9,0	1287
40-45%	10,0	0,6 P_{max}	10,0	126	10,0	138	9,0	1023
45-50%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	138	9,0	560
50-55%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	137	9,0	595
55-60%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	137	9,0	607
60-65%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	137	9,0	605
65-70%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	137	9,0	610
70-75%	10,0	0,6 P_{max}	6,0	125	6,0	137	9,0	608
75-80%	10,0	0,6 P_{max}	2,0	126	1,5	137	9,0	450
80-85%	10,0	0,6 P_{max}	2,0	125	1,5	137	9,0	359
85-90%	10,0	0,6 P_{max}	2,0	126	1,5	137	9,0	355
90-95%	10,0	0,6 P_{max}	2,0	126	1,5	138	9,0	365
95-100%	10,0	0,6 P_{max}	2,0	125	1,5	137	9,0	328
Tempo progressivo	Forno elettrico		Televisore		Forno a microonde		Lavabiancheria	
	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]	Priorità	P_M [W]
0-5%	7,0	2183	9,5	83	2,5	1207	2,5	30
5-10%	7,0	2232	6,5	83	5,0	1291	4,0	178
10-15%	7,0	2235	6,5	83	5,0	1290	4,0	241
15-20%	7,0	2112	6,5	83	5,0	1288	4,0	266
20-25%	7,0	1225	6,5	83	5,0	1292	4,0	268
25-30%	7,0	2052	6,5	83	5,0	1292	4,0	248
30-35%	7,0	1744	6,5	82	5,0	1290	8,0	186
35-40%	7,0	1691	6,5	82	5,0	1284	8,0	88
40-45%	7,0	1602	6,5	83	5,0	1291	8,0	116
45-50%	7,0	1843	6,5	83	5,0	1291	8,0	29
50-55%	7,0	1810	3,0	83	5,0	1293	8,0	235
55-60%	7,0	1478	3,0	82	5,0	1287	8,0	42
60-65%	7,0	1520	3,0	83	5,0	1290	8,0	247
65-70%	7,0	1593	3,0	83	5,0	1291	8,0	246
70-75%	7,0	1354	3,0	83	5,0	1295	8,0	12
75-80%	7,0	1311	3,0	82	5,0	1287	8,0	189
80-85%	7,0	1153	3,0	83	5,0	1291	9,5	105
85-90%	7,0	1286	3,0	83	5,0	1289	9,5	169
90-95%	7,0	1289	3,0	83	5,0	1291	9,5	289
95-100%	7,0	1340	3,0	83	5,0	1292	9,5	227

Tabella 6.3 – Priorità e potenza media di ogni elettrodomestico in funzione del tempo di funzionamento.

Tempo progressivo	Lavastoviglie		Asciugatrice		Ferro da stiro		Altri	
	Priorità	P _M [W]	Priorità	P _M [W]	Priorità	P _M [W]	Priorità	P _M [W]*
0-5%	2,0	50	1,5	2013	1,0	771	0,5	P _N
5-10%	3,5	1229	3,0	1888	2,5	580	0,5	P _N
10-15%	3,5	1987	3,0	1847	2,5	573	0,5	P _N
15-20%	3,5	1984	3,0	1838	2,5	591	0,5	P _N
20-25%	3,5	1999	3,0	1856	2,5	585	0,5	P _N
25-30%	3,5	1978	3,0	1851	2,5	579	0,5	P _N
30-35%	3,5	1978	3,0	1856	2,5	583	0,5	P _N
35-40%	3,5	1971	3,0	1865	2,5	581	0,5	P _N
40-45%	3,5	438	3,0	1866	2,5	603	0,5	P _N
45-50%	8,0	28	7,5	1870	2,5	604	0,5	P _N
50-55%	8,0	945	7,5	1864	2,5	587	0,5	P _N
55-60%	8,0	1716	7,5	1868	2,5	624	0,5	P _N
60-65%	8,0	35	7,5	1989	2,5	585	0,5	P _N
65-70%	8,0	938	7,5	1241	2,5	618	0,5	P _N
70-75%	8,0	1949	7,5	912	2,5	573	0,5	P _N
75-80%	8,0	1940	7,5	1854	2,5	570	0,5	P _N
80-85%	9,5	1940	7,5	1855	2,5	592	0,5	P _N
85-90%	9,5	1946	7,5	1849	2,5	574	0,5	P _N
90-95%	9,5	1966	7,5	882	2,5	606	0,5	P _N
95-100%	9,5	1311	2,0	182	2,5	601	0,5	P _N

* Per questa categoria si considera genericamente la potenza nominale P_N dell'apparecchio.

[Continua Tabella 6.3]

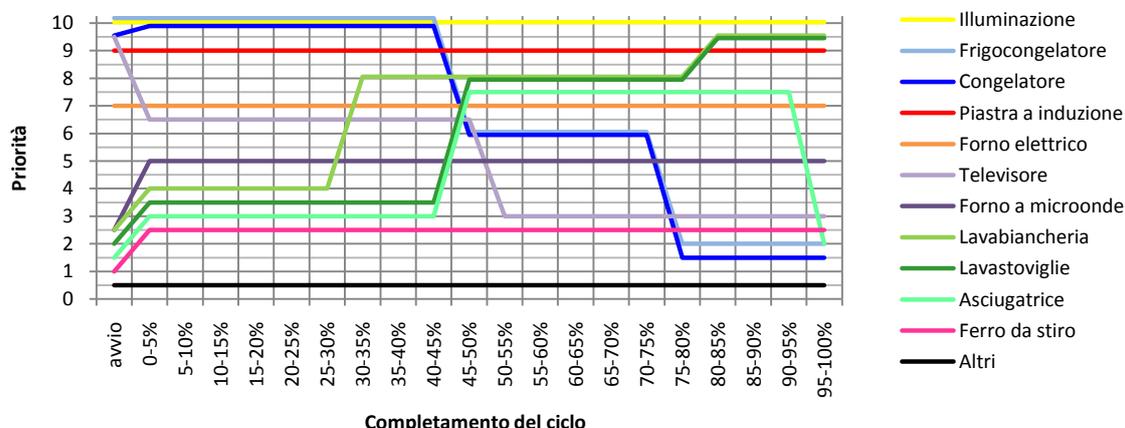


Figura 6.27 – Andamento delle priorità per ogni carico, in funzione del tempo progressivo di funzionamento (alcuni tratti orizzontali con più utenze sovrapposte sono stati leggermente sfalsati per poter essere leggibili).

L'ordine finale cui si è giunti, che ripetiamo essere del tutto indicativo, è il risultato di una serie di considerazioni fatte a volte partendo dagli apparecchi più importanti e altre da quelli in fondo alla lista, giungendo verso la fine alle priorità intermedie. Poiché in casi come questi è difficile seguire un percorso sequenziale lineare, è stato necessario aggiustare più volte il tiro, in quanto le relazioni da analizzare erano molteplici, determinate sia dal numero di apparecchi sia dal frazionamento di alcuni cicli. Ad ogni modo, visto il carattere propositivo proprio di questo lavoro, si ritiene di aver raggiunto un sufficiente livello di dettaglio.

Partendo dai servizi principali, l'illuminazione, il frigocongelatore e il congelatore hanno senz'altro la priorità massima. L'illuminazione ha un valore 10 costante, in quanto servizio

irrinunciabile nel momento in cui si richiede la sua attivazione; alla sua pari si trovano gli apparecchi di conservazione dei cibi, che mantengono la priorità massima fino al raggiungimento del 50% del ciclo, dopodiché si portano ad un livello inferiore per lasciare spazio alle fasi avanzate degli elettrodomestici a ciclo e alla televisione (quest'ultima perché, anche avendo un assorbimento modesto, a fronte di un distacco immediato provocherebbe un'elevata percezione di disagio); inoltre, dal 75% in poi, la priorità diminuisce nuovamente, avendo presumibilmente raggiunto a questo punto un accettabile grado di raffreddamento, concedendo in caso di necessità il proprio distacco a favore di molti altri carichi (a parte quelli meno essenziali rientranti nella categoria "altri") e riprendendo in un secondo momento. Viste le potenze assorbite da questi due servizi (frigorifero e congelatore), il loro funzionamento contemporaneo è sempre consentito ad eccezione di un caso: lo spunto dei compressori. Poiché in questa fase il frigorifero e il congelatore assorbono molta energia, un avvio contemporaneo, magari anche con le luci accese, andrebbe sicuramente oltre la potenza disponibile (3 kW, secondo i parametri ipotizzati in questa trattazione) facendo staccare l'interruttore generale; per questo motivo, l'avvio del congelatore è stato considerato secondario rispetto a quello del frigorifero (ma poiché il ritardo di partenza sarebbe solamente di pochi secondi gli effetti sul funzionamento sono ininfluenti), riportando subito dopo la priorità alla pari sia del frigorifero sia dell'illuminazione.

Subito dopo di essi viene il piano ad induzione, con una priorità molto alta e costante per tutto il suo utilizzo; nel momento in cui è richiesto il suo servizio, infatti, esso assume un'importanza molto elevata e superiore a qualsiasi altro elettrodomestico (ad eccezione appunto i due appena citati). La questione che spesso è stata posta per comprendere quale fosse il giusto grado di importanza da attribuire ad ogni evento è la seguente: "che cosa potrebbe interrompere questo carico in questo momento?"; nel caso appena visto la risposta è stata appunto "l'avvio del frigorifero o del congelatore, oppure l'accensione del televisore (un tubo catodico necessita inizialmente di una potenza istantanea elevata)". Questo vuol dire che, qualora durante le fasi di cottura si verificasse uno di questi eventi, il piano ad induzione verrebbe momentaneamente interrotto per riprendere poi quando il ciclo frigorifero avrà raggiunto la pressione di regime, o dopo la smagnetizzazione della TV. Ricordiamo che la procedura di stacco e riattacco dei carichi non si basa esclusivamente sul grado di priorità, ma valuta anche la potenza totale realmente richiesta: se in quel momento la priorità del frigorifero è maggiore a quella della piastra, ma la potenza complessiva è entro il limite di quella disponibile, si avrebbe comunque un riattacco selettivo partendo con lo stesso criterio dal carico più importante. Nel caso specifico, poiché sia il frigo sia la TV hanno un assorbimento di picco per pochi secondi, l'eventuale interruzione della piastra sarebbe minima e senza conseguenze (ricordiamo comunque che, in realtà, dei brevi picchi non fanno interrompere l'alimentazione, ma il distacco è causato da assorbimenti eccessivi e prolungati, quindi questi discorsi sono abbondantemente a favore di sicurezza).

Dopo la piastra è collocato il forno elettrico, per il quale si è definita una priorità inferiore in base al fatto che, data l'elevata potenza e visto che di solito non lo si usa contemporaneamente al piano ad induzione, rappresenta un servizio meno importante (anche se di poco) rispetto alla cottura comune. Per gli stessi motivi della piastra, la priorità è costante per tutto il suo funzionamento, cioè esso rappresenta un apparecchio che, nel momento in cui si decide di usarlo, anche se secondario ad altri è per averne un servizio importante.

Passiamo alla TV. Nell'ordine si trova tendenzialmente dopo il forno elettrico e prima degli altri grandi elettrodomestici e del forno a microonde. Tuttavia, all'accensione ha un livello di importanza superiore anche al piano ad induzione, ma come abbiamo detto si tratta di una situazione brevissima dopo la quale l'assorbimento iniziale scende subito a livelli molto più

bassi. In ogni caso, essa si mantiene al di sopra del microonde per un certo periodo di tempo (che per ora è stato posto indicativamente a circa il 50% dell'uso totale), riducendosi poi bruscamente fino a raggiungere lo stesso livello dell'asciugatrice a ciclo appena iniziato. Inoltre, qualora fosse accesa da poco tempo, essa si pone al di sopra degli elettrodomestici refrigeranti se questi hanno già superato la metà del ciclo, ponendosi in una posizione privilegiata per un eventuale distacco.

Come accennato, dopo la TV si pone il microonde, con una priorità stabile ed intermedia legata ad una necessità immediata ma tutto sommato non indispensabile. Per il secondo motivo, l'unica variazione anche in questo caso sta all'avvio: la priorità prima dell'accensione è stata impostata ad un valore inferiore rispetto a quello di funzionamento degli elettrodomestici a ciclo programmato, poiché è più sensato ritardare la partenza del microonde piuttosto che interrompere un ciclo di lavaggio o asciugatura già avviato. Così facendo, tra microonde, lavabiancheria, lavastoviglie, e asciugatrice, si guadagna una priorità maggiore il primo che viene fatto partire.

Subito dopo, come accennato, si trovano, lavabiancheria, lavastoviglie, e asciugatrice, nell'ordine in cui sono presentati. Questi tre elettrodomestici possiedono una priorità molto bassa all'avvio, la quale cresce allo stesso modo una volta partito il programma (mantenendosi comunque dietro al microonde). Ognuno di questi tre elettrodomestici ha all'istante "0" una priorità inferiore a quelle successive degli altri, poiché, offrendo servizi pressappoco della stessa importanza, è più sensato mantenere alimentato un apparecchio già funzionante piuttosto che interromperlo per avviarne un altro. In seguito, la priorità cresce radicalmente una volta superata la soglia critica (il 30% del ciclo per la lavatrice, il 50% per la lavastoviglie e l'asciugatrice). Come già chiarito in precedenza, infatti, da questo momento in poi è poco economico interrompere il ciclo. Inoltre, viste le potenze in gioco, lavatrice e lavastoviglie hanno nell'ultimo tratto la medesima priorità in quanto possono funzionare contemporaneamente rimanendo entro i 3 kW imposti. Nel caso dell'asciugatrice, però, il grado di importanza cala di parecchio a ciclo quasi completato, quando ormai la biancheria è già quasi totalmente asciutta; infatti, non consumando acqua, anche se venisse interrotta non causerebbe sprechi e neppure grandi disagi, rendendo disponibile per usi più urgenti la relativa quota di potenza (aprendo il portellone sarebbe infatti possibile verificare lo stato di asciugatura dei capi ed eventualmente avviare un nuovo ciclo di durata inferiore in un secondo momento).

La penultima posizione, prima del fanalino di coda rappresentato dalle utenze generiche, spetta al ferro da stiro; esso parte con un grado di importanza di poco inferiore all'asciugatrice, rimanendo poi costantemente a priorità molto più bassa.

A questo punto sono stati commentati singolarmente tutti i vari contributi, e l'ultimo passo da fare, illustrato nel capitolo che segue, sarà quello di mettere in pratica questi ragionamenti e vederne gli effetti.

6.3 Simulazione degli effetti in una settimana tipica domestica

In quest'ultimo paragrafo si vuole mostrare, attraverso una breve e semplice simulazione, in che modo opererebbe un manager energetico con le impostazioni precedentemente definite. Il metodo di simulazione e le ipotesi fatte sono ovviamente indicativi, poiché lo scopo è solo quello di dare un'idea di massima e mettere in luce le problematiche che si possono presentare, dimostrando che queste possono essere risolte conoscendo in modo preciso il consumo dei singoli carichi. Si ritiene interessante e utile fornire un esempio concreto di quello

che accadrebbe in un ambiente domestico tipico, evidenziando i tratti critici e spiegando quali sarebbero i metodi di intervento di un manager energetico opportunamente programmato, così da far comprendere appieno i benefici del sistema.

Per prima cosa vanno elencate le “condizioni al contorno” ovvero le ipotesi iniziali necessarie per definire alcuni parametri costanti. Il primo passo è stato quindi quello di scegliere il contesto, e per non divergere troppo dalle medie statistiche si è scelto di considerare una famiglia di 3 persone, con genitori occupati fuori casa ma in prossimità dell’abitazione (quindi con la possibilità di consumare a casa propria la pausa pranzo, il che ad esempio comporta un ciclo di lavastoviglie ogni giorno) e un figlio adolescente frequentante un scuola media inferiore (con un rientro pomeridiano). Non è ipotizzata la presenza di un impianto di climatizzazione estiva, quindi la dotazione elettrica complessiva è composta esclusivamente dagli elettrodomestici analizzati e la potenza contrattuale impegnata è stata scelta pari a 3 kW, che per il momento rimane ancora la più diffusa tra le famiglie. Così facendo, si vuole dimostrare che se l’edificio in sé è costruito bene al punto da rendere superfluo un impianto di raffrescamento, cosa oggi possibile, un aumento del carico elettrico potenziale non comporta necessariamente un incremento della taglia del contatore (e dei relativi costi di fornitura).

Fatte queste ipotesi fondamentali, altre ulteriori sono servite a caratterizzare alcune potenze quali l’illuminazione e altri carichi rientranti nella categoria “altri”. La prima, facendo riferimento ai dati del progetto MICENE, è stata stimata pari a 1200 W⁴⁸ complessivi installati, che con un fattore di contemporaneità ipotizzato pari a 0,6 si approssimano a circa 720 W costanti ad impianto funzionante. Tra gli altri utilizzatori, assieme ai carichi generici come i trasformatori, gli ausiliari della TV ed ulteriori vari apparecchi elettrici, compaiono il phon, l’aspirapolvere e il notebook; questi, nonostante siano dei carichi abbastanza specifici, proprio per il fatto che non hanno un punto di alimentazione fisso sono stati considerati assieme agli altri; per poter essere gestiti assieme ad utenze come il frigorifero e la lavastoviglie, infatti, sarebbe necessario installare un numero sovrabbondante di prese controllate, facendo aumentare la convenienza in misura molto minore rispetto ai maggiori costi. Tuttavia, per affinare la simulazione e renderla più realistica, sono state specificate alcune potenze come: 2000 W per l’aspirapolvere, 1500 W per un phon (monitorato), 100 W per utilizzi generici (notebook, lettore DVD, trasformatori, rasoio elettrico, frullatore, ecc.). In questi casi, per comodità la potenza è approssimata costante. Nella *Tabella 6.4* sono riportati i valori di potenza media per ogni elettrodomestico, calcolati ad intervalli di 5 minuti di funzionamento.

Note tutte le potenze in gioco (*Tabella 6.4*) si è proceduto a decidere come distribuire i carichi all’intermo della settimana. In linea con le ipotesi dichiarate ad inizio paragrafo, ovvero famiglia di 3 persone con due adulti occupati a tempo pieno e un figlio adolescente, una possibile combinazione di utilizzi elettrici è quella definita in *Tabella 6.5*. Ovviamente, anche in questo caso è impossibile definire una distribuzione tipica dei consumi a questo livello di dettaglio, quindi quella presentata come esempio è solo una tra le molteplici situazioni possibili, utile principalmente per una comprensione a livello concettuale.

⁴⁸ Secondo i dati di questa campagna di monitoraggio, le potenze medie per le varie stanze sono circa: 430 W in soggiorno, 250 W nelle camere da letto, 160 W in cucina, 160 W in bagno, 130 W in cantina, 70 W per altri ambienti.

Tempo	Illuminaz.	Frigocong.	Congelatore	Piastra ad induzione	Forno elettrico	TV
0-5 min	720	128	141	1275	2185	83
5-10 min	720	126	137	1288	2233	83
10-15 min	720	125	137	696	2237	83
15-20 min	720	125		568	1602	83
20-25 min	720			352	1702	83
25-30 min	720				1788	83
30-35 min	720				1742	83
35-40 min	720				1666	82
40-45 min	720				1880	83
45-50 min	720				1631	82
50-55 min	720				1695	83
55-60 min	720				1672	83
60-65 min	720				1654	82
65-70 min	720				1138	83
70-75 min	720				1077	82
75-80 min	720				1041	83
80-85 min	720				1383	83
85-90 min	720				1431	83
Tempo	Forno a microonde	Lavabianch.	Lavastoviglie	Asciugatrice	Ferro da stiro	Altri*
0-5 min	1282	85	1178	1925	872	P _N
5-10 min	1290	252	1985	1792	579	P _N
10-15 min		268	929	1948	576	P _N
15-20 min		194	815	1802	586	P _N
20-25 min		110	1829	1965	579	P _N
25-30 min		116	1762	1818	576	P _N
30-35 min		123		1967	586	P _N
35-40 min		209		1819	579	P _N
40-45 min		121		938	576	P _N
45-50 min		125		1805	586	P _N
50-55 min		281		1949	579	P _N
55-60 min		134		219	576	P _N
60-65 min					633	P _N
65-70 min					542	P _N
70-75 min					635	P _N
75-80 min					586	P _N
80-85 min					579	P _N
85-90 min					652	P _N
90-95 min					586	P _N
95-100 min					586	P _N
100-105 min					633	P _N
105-110 min					588	P _N
110-115 min					590	P _N
115-120 min					550	P _N

* Usi generici = 100 W; aspirapolvere = 2000 W; phon = 1500 W; notebook = 35 W.

Tabella 6.4 – Potenze medie degli elettrodomestici.

La *Tabella 6.6* e la *Tabella 6.7*, riportate più avanti, rappresentano in maniera ancora più chiara un intero giorno feriale e un intero giorno festivo presi ad esempio. In esse sono elencate ad intervalli di 5 minuti le potenze medie assorbite dai carichi in uso, la potenza

media complessiva (W_{TOT}) e la potenza che eccede dai 3 kW impostati⁴⁹ (W_{CUT}). I giorni scelti sono il martedì e la domenica, in quanto più ricchi di usi elettrici rispetto agli altri, pertanto, anche se non si analizza la totalità degli eventi critici, quelli relativi ai due giorni considerati servono come esempio al fine di illustrare alcune possibili procedure di intervento.

Lunedì	ore 0.00-7.30: altri (computer) ore 0.00: frigo (ciclo: 20+40)* ore 0.00: congelatore (ciclo: 15+15)* ore 6.45-7.30: luce ore 6.50-7.05: altri (bagno) ore 7-7.10: piano ad induzione ore 7-7.05: microonde ore 13-13.30: piano ad induzione ore 13.20-14.30: TV ore 18.30-21.30: luce ore 19-23.30: TV ore 19.30-20: piano ad induzione ore 20.30-21: lavastoviglie ore 21.15-21.20: microonde	Venerdì	ore 6.45-7.30: luce ore 6.50-7.05: altri (bagno) ore 7-7.10: piano ad induzione ore 7-7.05: microonde ore 13-13.30: piano ad induzione ore 13.20-14.30: TV ore 18.30-21.30: luce ore 19.05-19.25: ferro da stiro ore 19-23.30: TV ore 19.30-20: piano ad induzione ore 20.30-21: lavastoviglie ore 21.15-21.20: microonde ore 21-24: altri (computer)
Martedì	ore 6.45-7.30: luce ore 6.50-7.05: altri (bagno) ore 7-7.10: piano ad induzione ore 7-7.05: microonde ore 13-13.30: piano ad induzione ore 13.20-14.30: TV ore 18.30-21.30: luce ore 19-20: lavatrice ore 19-23.30: TV ore 19.30-20: piano ad induzione ore 20.30-21: lavastoviglie ore 21-22: asciugatrice ore 21.15-21.20: microonde ore 22-22.05: microonde	Sabato	ore 0.00-9.30: altri (computer) ore 9-9.10: piano ad induzione ore 9-9.05: microonde ore 9.40-10: altri (bagno) ore 10-11: lavatrice ore 12-12.30: piano ad induzione ore 12.30-14: TV ore 13-14: asciugatrice ore 15-17: ferro da stiro ore 15.30-16.15: forno ore 16.30-18.30: altri (aspirapolvere) ore 18.30-21.30: luce ore 19-23.30: TV ore 19.30-20: piano ad induzione ore 21-21.30: lavastoviglie ore 21-24: altri (computer) ore 21.30-21.50: altri (bagno)
Mercoledì	ore 6.45-7.30: luce ore 6.50-7.05: altri (bagno) ore 7-7.10: piano ad induzione ore 7-7.05: microonde ore 13-13.30: piano ad induzione ore 15-15.30: altri (bagno) ore 18.30-21.30: luce ore 19-23.30: TV ore 19.30-20: piano ad induzione ore 20.30-21: lavastoviglie ore 20.45-21.15: ferro da stiro ore 21.15-21.20: microonde	Domenica	ore 0.00-9.30: altri (computer) ore 9-9.10: piano ad induzione ore 9-9.05: microonde ore 9.40-10: altri (bagno) ore 12-12.30: piano ad induzione ore 12.30-13.30: TV ore 18.30-23: TV ore 18-19: lavatrice ore 18.30-21.30: luce ore 19.19.30: piano ad induzione ore 20.30-21: lavastoviglie ore 21-22: asciugatrice ore 21-24: altri (computer)
Giovedì	ore 6.45-7.30: luce ore 6.50-7.05: altri (bagno) ore 7-7.10: piano ad induzione ore 7-7.05: microonde ore 13-13.30: piano ad induzione ore 13.20-14.30: TV ore 18.30-21.30: luce ore 19-20: lavatrice ore 19-23.30: TV ore 19.30-20.30: forno elettrico ore 20.30-21: lavastoviglie ore 21-22: asciugatrice ore 21.15-21.20: microonde ore 22-22.05: microonde		

NOTA: dal risveglio fino alle ore 23.30, se non specificato, si considera un consumo forfettario di 100 W nella categoria "altri".
* Il funzionamento di questi due apparecchi è sottinteso a scorrere anche per tutti gli altri giorni.

Tabella 6.5 – Ipotesi di distribuzione giornaliera e settimanale dei carichi elettrici domestici.

⁴⁹ Si tenga presente che, nonostante un contratto con potenza impegnata di 3 kW consenta un prelievo istantaneo continuo fino a 3,3 kW, avendo considerato intervalli di 5 minuti e utilizzato le potenze medie si è ritenuto più idoneo rispettare comunque il limite di 3 kW, approssimando quindi alla situazione più sfavorevole.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
00:00		139	157									100	396	-
00:05		125	138									100	363	-
00:10		125	138									100	363	-
00:15		125										100	225	-
00:20												100	100	-
00:25												100	100	-
00:30			157									100	257	-
00:35			138									100	238	-
00:40			138									100	238	-
00:45												100	100	-
00:50												100	100	-
00:55												100	100	-
01:00		139	157									100	396	-
01:05		125	138									100	363	-
01:10		125	138									100	363	-
01:15		125										100	225	-
01:20												100	100	-
01:25												100	100	-
01:30			157									100	257	-
01:35			138									100	238	-
01:40			138									100	238	-
01:45												100	100	-
01:50												100	100	-
01:55												100	100	-
02:00		139	157									100	396	-
02:05		125	138									100	363	-
02:10		125	138									100	363	-
02:15		125										100	225	-
02:20												100	100	-
02:25												100	100	-
02:30			157									100	257	-
02:35			138									100	238	-
02:40			138									100	238	-
02:45												100	100	-
02:50												100	100	-
02:55												100	100	-
03:00		139	157									100	396	-
03:05		125	138									100	363	-
03:10		125	138									100	363	-
03:15		125										100	225	-
03:20												100	100	-
03:25												100	100	-
03:30			157									100	257	-
03:35			138									100	238	-
03:40			138									100	238	-
03:45												100	100	-
03:50												100	100	-
03:55												100	100	-

Tabella 6.6 – Martedì: rappresentazione schematica dei consumi singoli e complessivi.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
04:00		139	157									100	396	-
04:05		125	138									100	363	-
04:10		125	138									100	363	-
04:15		125										100	225	-
04:20												100	100	-
04:25												100	100	-
04:30			157									100	257	-
04:35			138									100	238	-
04:40			138									100	238	-
04:45												100	100	-
04:50												100	100	-
04:55												100	100	-
05:00		139	157									100	396	-
05:05		125	138									100	363	-
05:10		125	138									100	363	-
05:15		125										100	225	-
05:20												100	100	-
05:25												100	100	-
05:30			157									100	257	-
05:35			138									100	238	-
05:40			138									100	238	-
05:45												100	100	-
05:50												100	100	-
05:55												100	100	-
06:00		139	157									100	396	-
06:05		125	138									100	363	-
06:10		125	138									100	363	-
06:15		125										100	225	-
06:20												100	100	-
06:25												100	100	-
06:30			157									100	257	-
06:35			138									100	238	-
06:40			138									100	238	-
06:45												100	100	-
06:50	720											1500	2220	-
06:55	720											1500	2220	-
07:00	720	139	157	1275			1282					1500	5073	2073
07:05	720	125	138	1288								100	2371	-
07:10	720	125	138									100	1083	-
07:15	720	125										100	945	-
07:20	720											100	820	-
07:25	720											100	820	-
07:30			157									100	257	-
07:35			138									100	238	-
07:40			138									100	238	-
07:45												100	100	-
07:50												100	100	-
07:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.6]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
08:00		139	157									100	396	-
08:05		125	138									100	363	-
08:10		125	138									100	363	-
08:15		125										100	225	-
08:20												100	100	-
08:25												100	100	-
08:30			157									100	257	-
08:35			138									100	238	-
08:40			138									100	238	-
08:45												100	100	-
08:50												100	100	-
08:55												100	100	-
09:00		139	157									100	396	-
09:05		125	138									100	363	-
09:10		125	138									100	363	-
09:15		125										100	225	-
09:20												100	100	-
09:25												100	100	-
09:30			157									100	257	-
09:35			138									100	238	-
09:40			138									100	238	-
09:45												100	100	-
09:50												100	100	-
09:55												100	100	-
10:00		139	157									100	396	-
10:05		125	138									100	363	-
10:10		125	138									100	363	-
10:15		125										100	225	-
10:20												100	100	-
10:25												100	100	-
10:30			157									100	257	-
10:35			138									100	238	-
10:40			138									100	238	-
10:45												100	100	-
10:50												100	100	-
10:55												100	100	-
11:00		139	157									100	396	-
11:05		125	138									100	363	-
11:10		125	138									100	363	-
11:15		125										100	225	-
11:20												100	100	-
11:25												100	100	-
11:30			157									100	257	-
11:35			138									100	238	-
11:40			138									100	238	-
11:45												100	100	-
11:50												100	100	-
11:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.6]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
12:00		139	157									100	396	-
12:05		125	138									100	363	-
12:10		125	138									100	363	-
12:15		125										100	225	-
12:20												100	100	-
12:25												100	100	-
12:30			157									100	257	-
12:35			138									100	238	-
12:40			138									100	238	-
12:45												100	100	-
12:50												100	100	-
12:55												100	100	-
13:00		139	157	1275								100	1671	-
13:05		125	138	1288								100	1651	-
13:10		125	138	696								100	1059	-
13:15		125		568								100	793	-
13:20				352		83						100	535	-
13:25						83						100	183	-
13:30			157			83						100	340	-
13:35			138			83						100	320	-
13:40			138			83						100	320	-
13:45						83						100	183	-
13:50						83						100	183	-
13:55						82						100	182	-
14:00		139	157			83						100	479	-
14:05		125	138			82						100	445	-
14:10		125	138			83						100	446	-
14:15		125				83						100	308	-
14:20						82						100	182	-
14:25						83						100	183	-
14:30			157									100	257	-
14:35			138									100	238	-
14:40			138									100	238	-
14:45												100	100	-
14:50												100	100	-
14:55												100	100	-
15:00		139	157									100	396	-
15:05		125	138									100	363	-
15:10		125	138									100	363	-
15:15		125										100	225	-
15:20												100	100	-
15:25												100	100	-
15:30			157									100	257	-
15:35			138									100	238	-
15:40			138									100	238	-
15:45												100	100	-
15:50												100	100	-
15:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.6]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
16:00		139	157									100	396	-
16:05		125	138									100	363	-
16:10		125	138									100	363	-
16:15		125										100	225	-
16:20												100	100	-
16:25												100	100	-
16:30			157									100	257	-
16:35			138									100	238	-
16:40			138									100	238	-
16:45												100	100	-
16:50												100	100	-
16:55												100	100	-
17:00		139	157									100	396	-
17:05		125	138									100	363	-
17:10		125	138									100	363	-
17:15		125										100	225	-
17:20												100	100	-
17:25												100	100	-
17:30			157									100	257	-
17:35			138									100	238	-
17:40			138									100	238	-
17:45												100	100	-
17:50												100	100	-
17:55												100	100	-
18:00		139	157									100	396	-
18:05		125	138									100	363	-
18:10		125	138									100	363	-
18:15		125										100	225	-
18:20												100	100	-
18:25												100	100	-
18:30	720		157									100	977	-
18:35	720		138									100	958	-
18:40	720		138									100	958	-
18:45	720											100	820	-
18:50	720											100	820	-
18:55	720											100	820	-
19:00	720	139	157			83		85				100	1284	-
19:05	720	125	138			83		252				100	1417	-
19:10	720	125	138			83		268				100	1433	-
19:15	720	125				83		194				100	1221	-
19:20	720					83		110				100	1013	-
19:25	720					83		116				100	1019	-
19:30	720		157	1275		83		123				100	2458	-
19:35	720		138	1288		82		209				100	2537	-
19:40	720		138	696		83		121				100	1857	-
19:45	720			568		82		125				100	1595	-
19:50	720			352		83		281				100	1535	-
19:55	720					83		134				100	1037	-

[Continua Tabella 6.6]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
20:00	720	139	157			82						100	1198	-
20:05	720	125	138			83						100	1165	-
20:10	720	125	138			82						100	1165	-
20:15	720	125				83						100	1028	-
20:20	720					83						100	903	-
20:25	720					83						100	903	-
20:30	720		157			82			1178			100	2238	-
20:35	720		138			82			1985			100	3026	26
20:40	720		138			83			929			100	1970	-
20:45	720					83			815			100	1718	-
20:50	720					83			1829			100	2732	-
20:55	720					83			1762			100	2664	-
21:00	720	139	157			83				1925		100	3124	124
21:05	720	125	138			83				1792		100	2958	-
21:10	720	125	138			83				1948		100	3114	114
21:15	720	125				83	1282			1802		100	4111	1111
21:20	720					83				1965		100	2868	-
21:25	720					83				1818		100	2720	-
21:30			157			83				1967		100	2307	-
21:35			138			82				1819		100	2140	-
21:40			138			83				938		100	1258	-
21:45						82				1805		100	1987	-
21:50						83				1949		100	2132	-
21:55						83				219		100	402	-
22:00		139	157			82	1282					100	1760	-
22:05		125	138			83						100	445	-
22:10		125	138			82						100	445	-
22:15		125				83						100	308	-
22:20						83						100	183	-
22:25						83						100	183	-
22:30			157			82						100	339	-
22:35			138			82						100	320	-
22:40			138			83						100	320	-
22:45						83						100	183	-
22:50						83						100	183	-
22:55						83						100	183	-
23:00		139	157			83						100	479	-
23:05		125	138			83						100	446	-
23:10		125	138			83						100	446	-
23:15		125				83						100	308	-
23:20						83						100	183	-
23:25						83						100	183	-
23:30			157									100	257	-
23:35			138									100	238	-
23:40			138									100	238	-
23:45												100	100	-
23:50												100	100	-
23:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.6]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
00:00		139	157									100	396	-
00:05		125	138									100	363	-
00:10		125	138									100	363	-
00:15		125										100	225	-
00:20												100	100	-
00:25												100	100	-
00:30			157									100	257	-
00:35			138									100	238	-
00:40			138									100	238	-
00:45												100	100	-
00:50												100	100	-
00:55												100	100	-
01:00		139	157									100	396	-
01:05		125	138									100	363	-
01:10		125	138									100	363	-
01:15		125										100	225	-
01:20												100	100	-
01:25												100	100	-
01:30			157									100	257	-
01:35			138									100	238	-
01:40			138									100	238	-
01:45												100	100	-
01:50												100	100	-
01:55												100	100	-
02:00		139	157									100	396	-
02:05		125	138									100	363	-
02:10		125	138									100	363	-
02:15		125										100	225	-
02:20												100	100	-
02:25												100	100	-
02:30			157									100	257	-
02:35			138									100	238	-
02:40			138									100	238	-
02:45												100	100	-
02:50												100	100	-
02:55												100	100	-
03:00		139	157									100	396	-
03:05		125	138									100	363	-
03:10		125	138									100	363	-
03:15		125										100	225	-
03:20												100	100	-
03:25												100	100	-
03:30			157									100	257	-
03:35			138									100	238	-
03:40			138									100	238	-
03:45												100	100	-
03:50												100	100	-
03:55												100	100	-

Tabella 6.7 – Domenica: rappresentazione schematica dei consumi singoli e complessivi.

Ora	Luce	Friigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
04:00		139	157									100	396	-
04:05		125	138									100	363	-
04:10		125	138									100	363	-
04:15		125										100	225	-
04:20												100	100	-
04:25												100	100	-
04:30			157									100	257	-
04:35			138									100	238	-
04:40			138									100	238	-
04:45												100	100	-
04:50												100	100	-
04:55												100	100	-
05:00		139	157									100	396	-
05:05		125	138									100	363	-
05:10		125	138									100	363	-
05:15		125										100	225	-
05:20												100	100	-
05:25												100	100	-
05:30			157									100	257	-
05:35			138									100	238	-
05:40			138									100	238	-
05:45												100	100	-
05:50												100	100	-
05:55												100	100	-
06:00		139	157									100	396	-
06:05		125	138									100	363	-
06:10		125	138									100	363	-
06:15		125										100	225	-
06:20												100	100	-
06:25												100	100	-
06:30			157									100	257	-
06:35			138									100	238	-
06:40			138									100	238	-
06:45												100	100	-
06:50												100	100	-
06:55												100	100	-
07:00		139	157									100	396	-
07:05		125	138									100	363	-
07:10		125	138									100	363	-
07:15		125										100	225	-
07:20												100	100	-
07:25												100	100	-
07:30			157									100	257	-
07:35			138									100	238	-
07:40			138									100	238	-
07:45												100	100	-
07:50												100	100	-
07:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.7]

- Capitolo 6 -

Proposta di una logica di gestione automatizzata dei carichi elettrici in ambito domestico

Ora	Luce	Friigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
08:00		139	157									100	396	-
08:05		125	138									100	363	-
08:10		125	138									100	363	-
08:15		125										100	225	-
08:20												100	100	-
08:25												100	100	-
08:30			157									100	257	-
08:35			138									100	238	-
08:40			138									100	238	-
08:45												100	100	-
08:50												100	100	-
08:55												100	100	-
09:00		139	157	1275			1282					100	2953	-
09:05		125	138	1288								100	1651	-
09:10		125	138									100	363	-
09:15		125										100	225	-
09:20												100	100	-
09:25												100	100	-
09:30			157									100	257	-
09:35			138									100	238	-
09:40			138									1500	1638	-
09:45												1500	1500	-
09:50												1500	1500	-
09:55												1500	1500	-
10:00		139	157									100	396	-
10:05		125	138									100	363	-
10:10		125	138									100	363	-
10:15		125										100	225	-
10:20												100	100	-
10:25												100	100	-
10:30			157									100	257	-
10:35			138									100	238	-
10:40			138									100	238	-
10:45												100	100	-
10:50												100	100	-
10:55												100	100	-
11:00		139	157									100	396	-
11:05		125	138									100	363	-
11:10		125	138									100	363	-
11:15		125										100	225	-
11:20												100	100	-
11:25												100	100	-
11:30			157									100	257	-
11:35			138									100	238	-
11:40			138									100	238	-
11:45												100	100	-
11:50												100	100	-
11:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.7]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
12:00		139	157	1275								100	1671	-
12:05		125	138	1288								100	1651	-
12:10		125	138	696								100	1059	-
12:15		125		568								100	793	-
12:20				352								100	452	-
12:25												100	100	-
12:30			157			83						100	340	-
12:35			138			83						100	320	-
12:40			138			83						100	321	-
12:45						83						100	183	-
12:50						83						100	183	-
12:55						83						100	183	-
13:00		139	157			83						100	479	-
13:05		125	138			82						100	445	-
13:10		125	138			83						100	446	-
13:15		125				82						100	307	-
13:20						83						100	183	-
13:25						83						100	183	-
13:30			157									100	257	-
13:35			138									100	238	-
13:40			138									100	238	-
13:45												100	100	-
13:50												100	100	-
13:55												100	100	-
14:00		139	157									100	396	-
14:05		125	138									100	363	-
14:10		125	138									100	363	-
14:15		125										100	225	-
14:20												100	100	-
14:25												100	100	-
14:30			157									100	257	-
14:35			138									100	238	-
14:40			138									100	238	-
14:45												100	100	-
14:50												100	100	-
14:55												100	100	-
15:00		139	157								872	100	1268	-
15:05		125	138								579	100	942	-
15:10		125	138								576	100	939	-
15:15		125									586	100	811	-
15:20											579	100	679	-
15:25											576	100	676	-
15:30			157		2185						586	100	3028	28
15:35			138		2233						579	100	3050	50
15:40			138		2237						576	100	3051	51
15:45					1602						586	100	2288	-
15:50					1702						579	100	2381	-
15:55					1788						576	100	2465	-

[Continua Tabella 6.7]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
16:00		139	157		1742						633	100	2771	-
16:05		125	138		1666						542	100	2571	-
16:10		125	138		1880						635	100	2878	-
16:15		125									586	100	811	-
16:20											579	100	679	-
16:25											652	100	752	-
16:30			157								586	100	843	-
16:35			138								586	100	824	-
16:40			138								633	100	871	-
16:45											588	100	688	-
16:50											590	100	690	-
16:55											550	100	650	-
17:00		139	157									100	396	-
17:05		125	138									100	363	-
17:10		125	138									100	363	-
17:15		125										100	225	-
17:20												100	100	-
17:25												100	100	-
17:30			157									100	257	-
17:35			138									100	238	-
17:40			138									100	238	-
17:45												100	100	-
17:50												100	100	-
17:55												100	100	-
18:00		139	157					85				100	481	-
18:05		125	138					252				100	615	-
18:10		125	138					268				100	631	-
18:15		125						194				100	419	-
18:20								110				100	210	-
18:25								116				100	216	-
18:30	720		157			83		123				100	1184	-
18:35	720		138			83		209				100	1250	-
18:40	720		138			83		121				100	1162	-
18:45	720					83		125				100	1027	-
18:50	720					83		281				100	1183	-
18:55	720					83		134				100	1037	-
19:00	720	139	157			83						100	1199	-
19:05	720	125	138			82						100	1165	-
19:10	720	125	138			83						100	1166	-
19:15	720	125				82						100	1027	-
19:20	720					83						100	903	-
19:25	720					83						100	903	-
19:30	720		157	1275		82						100	2335	-
19:35	720		138	1288		83						100	2328	-
19:40	720		138	696		82						100	1736	-
19:45	720			568		83						100	1471	-
19:50	720			352		83						100	1255	-
19:55	720					83						100	903	-

[Continua Tabella 6.7]

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
20:00	720	139	157			82						100	1198	-
20:05	720	125	138			82						100	1165	-
20:10	720	125	138			83						100	1166	-
20:15	720	125				83						100	1028	-
20:20	720					83						100	903	-
20:25	720					83						100	903	-
20:30	720		157			83			1178			100	2238	-
20:35	720		138			83			1985			100	3026	26
20:40	720		138			83			929			100	1970	-
20:45	720					83			815			100	1717	-
20:50	720					83			1829			100	2732	-
20:55	720					83			1762			100	2664	-
21:00	720	139	157			83				1925		100	3124	124
21:05	720	125	138			82				1792		100	2958	-
21:10	720	125	138			83				1948		100	3114	114
21:15	720	125				82	1282			1802		100	4111	1111
21:20	720					83				1965		100	2868	-
21:25	720					83				1818		100	2721	-
21:30			157			82				1967		100	2306	-
21:35			138			83				1819		100	2140	-
21:40			138			82				938		100	1258	-
21:45						83				1805		100	1988	-
21:50						83				1949		100	2132	-
21:55						83				219		100	402	-
22:00		139	157			82						100	478	-
22:05		125	138			82						100	445	-
22:10		125	138			83						100	446	-
22:15		125				83						100	308	-
22:20						83						100	183	-
22:25						83						100	183	-
22:30			157			83						100	340	-
22:35			138			83						100	320	-
22:40			138			83						100	321	-
22:45						83						100	185	-
22:50						83						100	185	-
22:55						83						100	185	-
23:00		139	157									100	396	-
23:05		125	138									100	363	-
23:10		125	138									100	363	-
23:15		125										100	225	-
23:20												100	100	-
23:25												100	100	-
23:30			157									100	257	-
23:35			138									100	238	-
23:40			138									100	238	-
23:45												100	100	-
23:50												100	100	-
23:55												100	100	-

[Continua Tabella 6.7]

Nei due giorni simulati è possibile riscontrare diversi casi di superamento della soglia di consumo elettrico, dovuti a un prelievo contemporaneo di energia da parte di più utenze. Poiché gli elettrodomestici coinvolti non sono sempre gli stessi e avvengono in momenti diversi, anche le operazioni di intervento dovranno necessariamente essere differenti.

Il primo episodio analizzato è quello verificatosi alle ore 7:00 del martedì, in cui sono in funzione l'illuminazione, il phon, il piano ad induzione ed il microonde, oltre all'avvio del frigocongelatore e del congelatore. Tutti questi assorbimenti vanno quindi ad eccedere rispetto ai 3000 W, rendendo necessaria una riduzione di potenza di circa 2070 W. A questo proposito entra in gioco il manager energetico: valutando lo stato di ogni utenza e associandone il relativo grado di priorità è in grado di staccare determinati carichi partendo dal meno utile, che in questo caso è il phon. Riducendo quindi il carico di 1500 W si raggiunge la quota di 3573 kW, che però non è ancora sufficiente ad evitare un distacco dell'alimentazione. L'intervento successivo è quindi quello di scollegare il microonde, raggiungendo ora un livello abbondantemente entro i limiti fissati. Se in seguito il consumo complessivo scendesse ulteriormente, magari in conseguenza ad una riduzione di potenza del piano ad induzione, essendo noti i consumi all'avvio gli elettrodomestici staccati sarebbero nuovamente utilizzabili in sequenza partendo da quello a priorità maggiore, che in questo caso è il microonde. Dopo 10 minuti, una volta terminate le operazioni al piano ad induzione, il forno sarebbe nuovamente utilizzabile e, addirittura, se il timer non avesse raggiunto la fine si riaccenderebbe automaticamente (ma solo se il timer fosse meccanico). La situazione a conclusione dell'intervento automatico è rappresentata dalla *Tabella 6.8*.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
06:55	720											1500	2220	-
07:00	720	139	157	1275									2291	-
07:05	720	125	138	1288								100	2371	-
07:10	720	125	138				1282					100	2365	-

Tabella 6.8 – Martedì: situazione dopo il primo intervento alle ore 7 (ritardo avvio microonde e distacco prese generiche).

Ovviamente, trattandosi anche di carichi a potenza variabile, gli interventi manuali potrebbero essere molteplici e magari senza l'intervento del sistema di gestione; tuttavia, in tale situazione, grazie ad un intervento automatico si sono mantenuti in funzione i carichi più importanti, ovvero l'illuminazione, gli apparecchi per la conservazione dei cibi e il piano di cottura, sacrificando il phon e il microonde. Conoscendo questi limiti, per non dover rinunciare a nessuno di questi servizi ci si può regolare di conseguenza ad esempio anticipando di pochi minuti qualche attività o ad esempio utilizzando esclusivamente il piano ad induzione qualora non sia indispensabile ricorrere contemporaneamente al microonde.

Il secondo evento analizzato riguarda la lavastoviglie. Secondo la pianificazione, il suo avvio è stato ipotizzato alle ore 20.30, con l'illuminazione e la TV accese e in concomitanza con l'avvio del congelatore, oltre ad un carico non definito relativo alle prese generiche. In questo caso, il superamento di potenza si registra dopo 5 minuti dall'inizio del ciclo ed equivale a meno di 30 W. La soluzione è quindi il semplice distacco delle prese controllate, eliminando così l'assorbimento (ipotizzato) di 100 W e ripristinando le condizioni di regolarità.

Poco dopo questo evento si verifica una terza situazione critica nel momento in cui si fa partire il ciclo dell'asciugatrice, programmato per le ore 21. All'avvio, infatti, per i primi 5 minuti il carico risulta essere di circa 120 W oltre il limite imposto, avviando così la procedura

di distacco selettivo. Il primo passo è quindi quello di scollegare le prese controllate, guadagnando 100 W. Tuttavia, come è stato detto, il sistema conosce già a priori qual è la potenza richiesta all'avvio da ogni singola utenza e in questo caso, non essendoci ancora un margine disponibile a seguito del distacco delle prese, è direttamente impedito l'avvio dell'elettrodomestico in questione, posticipandolo ad un momento più favorevole. Inoltre, poiché non ve ne è più la necessità, le prese possono essere nuovamente riattivate. Nel caso in esame l'asciugatrice verrà ricollegata alla rete dopo circa cinque minuti, cioè dopo la fase di avvio dei compressori frigoriferi, e distaccando nuovamente le prese generiche ottenendo una potenza disponibile di 1934 W, superiore ai 1925 W richiesti. La nuova pianificazione è quindi quella riportata in *Tabella 6.9*.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
21:00	720	139	157			83						100	1199	-
21:05	720	125	138			83				1925			2991	-
21:10	720	125	138			83				1792		100	3114	114
21:15	720	125				83	1282			1948		100	4111	1111
21:20	720					83				1802		100	2868	-
21:25	720					83				1965		100	2720	-
21:30			157			83				1818		100	2307	-
21:35			138			82				1967		100	2140	-
21:40			138			83				1819		100	1258	-
21:45						82				938		100	1987	-
21:50						83				1805		100	2132	-
21:55						83				1949		100	402	-
22:00		139	157			82	1282			219		100	1760	-
22:05		125	138			83						100	445	-

Tabella 6.9 – Martedì: situazione dopo il primo intervento alle ore 21 e alle ore 21:05 (ritardo avvio asciugatrice e distacco prese generiche).

Dalla stessa tabella si può osservare che vi è un ulteriore periodo di sovraccarico durante il funzionamento dell'asciugatrice, che inizia dopo cinque minuti di funzionamento e continua per dieci minuti. In questo caso, distaccando solo le prese generiche rimarrebbe ancora un eccesso di 14 W che, seppur minimo, viste le rigide limitazioni dei nuovi contatori porterebbe comunque ad un distacco dell'alimentazione. Non conoscendo però esattamente l'evoluzione dei carichi all'interno dei cinque minuti, vi possono essere due possibili sviluppi: visto che l'asciugatrice ad inizio ciclo (e già avviata) ha priorità 3, un suo funzionamento a spese del congelatore sarebbe possibile solo se questo avesse già superato il 75% del suo ciclo, portando la sua priorità inferiormente a quella dell'asciugatrice, altrimenti il sistema di controllo provvede ad interrompere il ciclo di asciugatura mantenendo normalmente attivo il congelatore. L'opzione considerata è quella legata al distacco dell'asciugatrice, poiché in tal caso si avrebbe la posticipazione dell'intero ciclo fino almeno al termine del funzionamento del congelatore, ossia alle 21.15. In seguito a questo rinvio di partenza, la potenza disponibile consente una riattivazione delle prese generiche tra le 21:05 e le 21:10, come si vede in *Tabella 6.10*.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
21:05	720	125	138			83						100	1166	-
21:10	720	125	138			83						100	1166	-
21:15	720	125				83	1282			1925		100	4235	1235
21:20	720					83				1792		100	2695	-
21:25	720					83				1948		100	2851	-
21:30			157			83				1802		100	2142	-
21:35			138			82				1965		100	2285	-
21:40			138			83				1818		100	2139	-
21:45						82				1967		100	2149	-
21:50						83				1819		100	2002	-
21:55						83				938		100	1121	-
22:00		139	157			82	1282			1805		100	3565	565
22:05		125	138			83				1949		100	2395	-
22:10		125	138			82				219		100	664	-
22:15		125				83						100	308	-

Tabella 6.10 – Martedì: situazione dopo il secondo intervento alle ore 21:05 (ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese generiche).

Questo intervento a sua volta genera altre situazioni critiche, vale a dire un sovraccarico alle 21.15 e un altro alle 22.00, entrambi dovuti sostanzialmente alla contemporaneità di asciugatrice e microonde.

Anche in questo caso vi possono essere situazioni differenti in base a quale di questi due carichi venga alimentato per primo, poiché l'ordine di priorità cambia. Se si è acceso prima il microonde, per far partire il ciclo di asciugatura bisogna attendere la conclusione delle operazioni del forno, che nell'esempio considerato accadrebbe dopo soli cinque minuti. Se invece l'asciugatrice è già stata fatta partire, per poter usufruire del forno bisogna aspettare che la prima sia arrivata almeno al 95% dell'intero ciclo, praticamente dopo quasi un'ora. La diversità degli effetti è evidente: è sicuramente meno fastidioso dover rinviare di cinque minuti l'avvio dell'asciugatrice (il cui funzionamento poi prosegue in automatico) piuttosto che dover aspettare un'ora per usufruire del microonde. Per questo motivo è anche giusto che ogni utente prenda coscienza delle conseguenze che può avere una gestione automatizzata e definisca le priorità di ogni elettrodomestico nella maniera più precisa possibile; inoltre, per non incappare in situazioni evitabili come quelle appena illustrate, è utile conoscere il metodo di intervento e la logica che ne sta alla base.

Per concludere l'analisi, ipotizziamo che il microonde sia già in funzione al momento della partenza del programma di asciugatura: in tal caso, quest'ultimo si blocca in seguito al distacco dalla rete dell'elettrodomestico, ricollegandosi una volta che il forno sia stato spento, come si vede in *Tabella 6.11*. Inoltre, poiché in alcuni tratti la potenza media dell'asciugatrice si riduce, per pura coincidenza è stato risolto anche il problema che si sarebbe verificato in precedenza al secondo utilizzo del microonde eliminando ogni sfioramento di potenza; in ogni caso, qualora fosse persistito, l'intervento del sistema di management avrebbe portato al distacco di quest'ultimo, rimandandone di venti minuti l'utilizzo. La conclusione di questa serie di interventi automatizzati è quindi l'aver ritardato l'accensione dell'asciugatrice di venti minuti, potendo però utilizzare normalmente il microonde e le luci, mantenendo in funzione frigocongelatore e congelatore e disponendo di tutte le prese controllate.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
21:10	720	125	138			83						100	1166	-
21:15	720	125				83	1282					100	2310	-
21:20	720					83				1925		100	2828	-
21:25	720					83				1792		100	2695	-
21:30			157			83				1948		100	2288	-
21:35			138			82				1802		100	2122	-
21:40			138			83				1965		100	2286	-
21:45						82				1818		100	2000	-
21:50						83				1967		100	2150	-
21:55						83				1819		100	2002	-
22:00		139	157			82	1282			938		100	2698	-
22:05		125	138			83				1805		100	2251	-
22:10		125	138			82				1949		100	2394	-
22:15		125				83				219		100	527	-

Tabella 6.11 – Martedì: situazione finale dopo il terzo intervento alle ore 21:15 (ritardo avvio asciugatrice).

L'analisi prosegue con il giorno festivo preso come esempio: la domenica. Il primo caso di sovraccarico si ha nel pomeriggio tra le 15:30 e le 15:45, durante l'accensione del forno; tuttavia, poiché la potenza media in eccesso è molto ridotta, il distacco delle prese generiche è sufficiente a riportare il consumo globale entro i limiti (vedi Tabella 6.12).

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
15:25											576	100	676	-
15:30			157		2185						586		2928	-
15:35			138		2233						579		2950	-
15:40			138		2237						576		2951	-
15:45					1602						586	100	2288	-

Tabella 6.12 – Domenica: situazione dopo il primo intervento alle ore 15:30 (distacco prese generiche).

La medesima soluzione adottata alle ore 15:30 è ripetuta alle ore 20:35, in cui, oltre al consumo generico non definito, sono in funzione l'illuminazione, il congelatore, la TV e la lavastoviglie (vedi Tabella 6.13).

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
20:30	720		157			83			1178			100	2238	-
20:35	720		138			83			1985				2926	-
20:40	720		138			83			929			100	1970	-

Tabella 6.13 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 20:35 (distacco prese generiche).

Il successivo problema energetico si ha alle ore 21, momento in cui si avvia il ciclo dell'asciugatrice. In questo frangente, il funzionamento nei primi cinque minuti comporterebbe un eccesso di potenza di oltre 120 W. Un sistema programmato in maniera molto precisa deve considerare molti fattori affinché l'ordine di distacco dei carichi sia effettivamente quello migliore. In questo caso, con le impostazioni definite, la sequenza vede un primo distacco delle prese generiche, il quale però non è sufficiente e richiede quindi anche un ritardo di cinque minuti dell'avvio dell'asciugatrice; a questo punto, senza più l'incombenza di quest'ultima, è possibile riattaccare subito le prese (Tabella 6.14).

Tuttavia, scollegare e ricollegare le prese nel giro di pochi istanti provoca in ogni caso un'interruzione di corrente che causa un disagio, il quale sarebbe evitabile con una programmazione più accurata. La soluzione migliore in questa situazione, infatti, comporterebbe solamente il ritardo dell'asciugatrice, mantenendo le prese sempre alimentate. Ci si trova quindi a ripetere che in questa sede si vuole dare un'idea non solo del funzionamento di un manager energetico, ma anche delle numerose problematiche che vanno prese in considerazione sia a monte, valutando la migliore distribuzione dei punti controllati, sia nel momento in cui lo si progetta e programma; poiché infatti non è sempre facile ed immediato definire la combinazione ottimale di operazioni da eseguire, queste tematiche potrebbero essere oggetto per proseguire e migliorare l'analisi in corso.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
20:55	720					83			1762			100	2664	-
21:00	720	139	157			83						100	1199	-
21:05	720	125	138			82				1925		100	3090	90
21:10	720	125	138			83				1792		100	2958	-
21:15	720	125				82	1282			1948		35	4192	1192
21:20	720					83				1802		35	2640	-
21:25	720					83				1965		35	2803	-
21:30			157			82				1818		35	2092	-
21:35			138			83				1967		35	2223	-
21:40			138			82				1819		35	2074	-
21:45						83				938		35	1056	-
21:50						83				1805		35	1923	-
21:55						83				1949		35	2067	-
22:00		139	157			82				219		35	632	-
22:05		125	138			82						35	380	-

Tabella 6.14 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 21:00 (distacco prese generiche, ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese).

Una volta traslata nel tempo la partenza del ciclo di asciugatura, la stessa tabella di prima evidenzia altre situazioni problematiche, esattamente alle ore 21:05 e 21:15, venutesi a creare in conseguenza degli interventi risolutivi precedenti. La prima di queste comporta come unica e sufficiente soluzione la disattivazione delle prese generiche, mentre la seconda vede, come in altri casi già analizzati, una prima disattivazione delle prese seguita dal microonde e una nuova alimentazione delle prese; il microonde sarà poi accessibile non appena la potenza disponibile diventi nuovamente sufficiente (in questo caso alle ore 21:45). La configurazione finale è quella riportata in *Tabella 6.15*.

Con questo metodo di intervento, a livello globale si gode di un'alimentazione sempre attiva, ma ancora una volta questo rende necessaria una momentanea interruzione dei servizi collegati alle prese generiche.

Ora	Luce	Frigo	Cong.	Piano a induz.	Forno elettr.	TV	Microonde	Lavatrice	Lavastov.	Asciugatr.	Ferro da stiro	Altri	W _{TOT}	W _{CUT}
21:00	720	139	157			83						100	1199	-
21:05	720	125	138			82				1925			2990	-
21:10	720	125	138			83				1792		100	2958	-
21:15	720	125				82				1948		35	2910	-
21:20	720					83				1802		35	2640	-
21:25	720					83				1965		35	2803	-
21:30			157			82				1818		35	2092	-
21:35			138			83				1967		35	2223	-
21:40			138			82				1819		35	2074	-
21:45						83	1282			938		35	2338	-
21:50						83				1805		35	1923	-
21:55						83				1949		35	2067	-
22:00		139	157			82				219		35	632	-
22:05		125	138			82						35	380	-

Tabella 6.15 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 21:00 (distacco prese generiche, ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese).

Conclusioni in merito all'utilizzo di un manager energetico

In questa breve analisi si è voluto dimostrare l'efficacia di un sistema di *management* dei carichi elettrici. Nonostante i vincoli reali siano più generosi di quelli ipotizzati in questa sede, il funzionamento di distacco selettivo automatizzato si è comunque rivelato molto efficiente sia dal punto di vista del risparmio energetico, evitando ad esempio di ripetere più volte carichi e scarichi inutili di acqua, sia dal punto di vista del comfort domestico, punto sul quale sicuramente l'attenzione cade in modo più significativo. Con un sistema del genere, quindi, si può godere di un'alimentazione elettrica sempre attiva e sfruttare pienamente la potenza contrattualmente impegnata, aspetto non trascurabile in vista di un sempre maggiore ricorso a questo tipo di fonte energetica.

Nonostante come già detto i ragionamenti condotti riguardano apparecchi "non intelligenti", per i quali gli interventi messi in atto servono solamente a scollegare o ricollegare gli stessi alla rete elettrica, è comunque evidente che conoscere il reale profilo di carico elettrico aiuta ad affinare la programmazione degli interventi automatici aumentando i vantaggi ottenibili. È anche vero che, nonostante i benefici siano tangibili, le potenzialità di un sistema di gestione possono essere sfruttate ancora di più qualora vi siano installati apparecchi in grado di scambiare informazioni utili a prendere le decisioni migliori. Questo è ad oggi non ancora possibile, in quanto non esistono in commercio elettrodomestici capaci di inviare dati in rete e di rispondere non solo a segnali di On/Off ma anche di "pausa" o, in alcuni casi, modulando addirittura la propria potenza, garantendo dei risparmi energetici decisamente più interessanti.

Conclusioni

Dal lavoro svolto sono emersi alcuni aspetti molto importanti legati all'utilizzo corretto dell'energia elettrica e ai vantaggi legati all'installazione di un sistema capace di distribuire la stessa in maniera più economica tra i vari utilizzi cui è destinata. In un'abitazione, infatti, coordinando con attenzione il carico degli apparecchi elettrici, dell'impianto di climatizzazione e dell'illuminazione in funzione di un limite massimo (concordato con l'ente fornitore) si riesce a non sforare i limiti contrattuali favorendo così la continuità di alimentazione generale e risparmiando in termini di bolletta.

Il primo passo da fare è ovviamente quello di utilizzare di lampade a basso consumo, che consentono un risparmio immediato di circa il 70% di energia rispetto alle tradizionali a filamento, ed elettrodomestici in classe energetica A o A+ (che consumano oltre il 20% in meno di quelli in classe superiore). Installando poi un sistema di gestione dei carichi elettrici non solo si può gestire l'impianto di climatizzazione attivandolo solo in condizioni di reale necessità, ma si interviene anche automatizzando l'accensione delle luci e coordinando il funzionamento di tutti gli apparecchi elettrici presenti nell'edificio, garantendo il rispetto dei limiti imposti sulla potenza massima prelevabile; inoltre, programmando alcune prese in maniera opportuna, si riducono notevolmente gli sprechi legati ad apparecchi lasciati in standby (ad esempio impostando un distacco dell'alimentazione se per un certo periodo di tempo viene registrata una potenza inferiore ad una certa soglia).

La caratterizzazione degli apparecchi a ciclo e in generale l'analisi delle variazioni di assorbimento elettrico in funzione del tempo ha permesso quindi di determinare il grado di priorità più corretto da assegnare in fase di programmazione del *manager energetico*, garantendo un'alta qualità di intervento; senza queste conoscenze dettagliate si deve purtroppo fare riferimento esclusivamente ai dati di targa, attuando un controllo molto grossolano e poco efficace. Potendo contare su un reale profilo di carico è possibile distinguere i periodi in cui la potenza assorbita è molto inferiore a quella nominale, sfruttando maggiormente la potenza disponibile concessa dall'ente fornitore, oppure individuare i momenti in cui l'apparecchio svolge operazioni tali da non comportare sprechi in caso di arresto del funzionamento, o ancora ritardare nel tempo l'avvio di alcuni elettrodomestici per usufruire di tariffe energetiche più vantaggiose.

Grazie quindi all'intervento automatizzato in situazioni critiche, che come si vede dalla simulazione effettuata non sono rare, anche contenendo i limiti di potenza si può comunque utilizzare liberamente un elevato numero di apparecchiature elettriche e mantenere il livello di comfort desiderato (si eliminano i blackout, che comportano una interruzione generale dell'alimentazione e richiedono ogni volta un riarmo manuale). Inoltre, eliminando i picchi massimi di assorbimento che si avrebbero in assenza di un sistema di gestione dei carichi, si registra anche un effettivo risparmio in termini tariffari che consente di ammortizzare in poco tempo il maggiore investimento iniziale.

Secondo quanto illustrato al paragrafo 2.1.1, un'abitazione media dotata di climatizzazione aveva nel 2007 un fabbisogno di circa 4900 kWh/anno. A scopo di esempio, per aggiornare il ragionamento considerando l'aumento sia del fabbisogno sia della qualità degli elettrodomestici, incrementiamo i consumi del 6-7% fino alla quota di 5200 kWh/anno e

ipotizziamo che vi sia installato un contatore da 4,5 kW a tariffazione monoraria (per semplificare il calcolo): con questi parametri la bolletta annuale sarebbe di circa 890 €. ⁵⁰

Tramite una gestione automatizzata non sarebbe difficile ridurre il consumo del 10%, scendendo a quota 4700 kW/anno; oltre a ciò, avendo un controllo dei carichi tarato opportunamente si potrebbe anche pensare di ridurre la potenza impiegata di uno scaglione, portandola a 3 kW. In conseguenza di ciò, essendosi ridotto sia il costo fisso sia quello legato al consumo, la nuova bolletta si ridurrebbe del 35%, facendo risparmiare oltre 300 € in un anno (circa 50 € ogni bolletta!).

Accanto ai carichi generici, si è visto poi che l'illuminazione nello specifico rappresenta il punto dolente degli uffici e di tutte quelle attività lavorative del settore terziario. Con un sistema automatico, sottintendendo l'utilizzo delle lampade a basso consumo al posto delle vecchie ad incandescenza o a scarica di vecchia generazione, i benefici in questa direzione sono enormi. Considerando ad esempio ad un complesso in cui siano già presenti tutte lampade fluorescenti, secondo alcune simulazioni dell'ENEA⁵¹ appare evidente il risparmio ottenibile aumentando progressivamente l'accuratezza dell'impianto di illuminazione. Già solamente suddividendo gli apparecchi illuminanti in più gruppi in base alla distanza dalle finestre, anche con un controllo On/Off di tipo manuale si ottiene una riduzione del 5% del fabbisogno elettrico; se poi si aggiunge una regolazione variabile in funzione della luce naturale (*dimmer*) e dell'occupazione degli ambienti (sensori di presenza) il risparmio sale al 13%, che se paragonato alle quantità in gioco è anche in termini assoluti un valore molto significativo. L'altro aspetto economico che è opportuno citare anche se non espressamente trattato in queste pagine, è quello legato al fattore di potenza, ovvero la qualità dell'energia, molto rilevante in ambienti soprattutto industriali; come per il consumo annuale, esistono anche in questo caso delle tariffe variabili in funzione della parte di energia attiva e reattiva consumata, e una gestione automatica unita ad un sistema di rifasamento può sicuramente concorrere sia a migliorare le prestazioni complessive sia a ridurre le spese annuali.

Questo, del risparmio legato al consumo, è il primo punto che emerge dal lavoro. In seconda analisi si è chiamato in causa anche il tema della certificazione energetica. Si è messo in evidenza che questa, nonostante il passo in avanti condotto includendo il fabbisogno per l'illuminazione artificiale, escluda totalmente l'aspetto dei singoli apparecchi elettrici installati, aspetto che a livello di energia primaria richiesta si è dimostrato non trascurabile sia sul consumo delle abitazioni sia su quello degli ambienti legati al terziario. Mentre per gli uffici, essendo l'illuminazione un aspetto condizionante, interventi di riduzione del carico elettrico possono portare anche ad una classificazione migliore (si veda l'esempio riportato al capitolo 3), per gli edifici residenziali questo purtroppo non è ad oggi possibile in quanto l'incidenza dell'involucro è ancora altamente preponderante.

Nonostante si sia provato che la riduzione del fabbisogno di energia primaria di un edificio sia influenzato anche dagli usi elettrici diversi dall'illuminazione, ad oggi questo aspetto è considerato solo in relazione al mero consumo sottovalutando fortemente il contributo che potrebbe avere sul valore complessivo degli immobili. Tra le varie problematiche illustrate, quindi, un suggerimento che si è voluto dare trattando anche questa tematica è sicuramente

⁵⁰ Fonte: Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (<http://www.autorita.energia.it/it/d2d3.htm>); il dato è ottenuto in riferimento alla fascia di consumo D3 per residenti, ipotizzata come la più probabile a fronte dell'elettrificazione degli edifici, ed è comprensivo di IVA al 20%.

⁵¹ ENEA – Report RSE/2009/12: Sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale applicati a diverse tipologie edilizie. Rapporto sugli esiti di simulazioni numeriche e sperimentazioni in campo. Si fa riferimento ad un edificio sito in Torino, con ostruzione prodotta da costruzioni adiacenti, uffici di profondità 5,4 m e superficie finestrata di tipo A.

volto ad una prossima implementazione del metodo di calcolo per la determinazione della classe energetica, riconoscendo la giusta importanza anche a questo tipo di consumo.

Attualmente, un certificato energetico dimostra che un edificio richiede meno energia rispetto ad un altro in base ad un utilizzo standard dell'illuminazione e dell'impianto di climatizzazione; queste indicazioni, però, possono subire sensibili variazioni in base all'uso che realmente se ne fa, quindi sono dei valori indicativi. Se, invece, si potesse indicare nel certificato anche la presenza di un sistema di monitoraggio dei carichi, questo andrebbe senz'altro ad aumentare il valore dell'immobile in quanto informerebbe il possibile acquirente che è installato un impianto capace di adattarsi automaticamente e nella maniera ottimale a qualsiasi tipo di situazione, garantendo l'assenza di sprechi e razionalizzando l'energia.

Appendice A

La Certificazione Energetica

A.1 Che cosa è la Certificazione Energetica

L'aumento della spesa per l'approvvigionamento energetico e la crescente consapevolezza del pesante impatto ambientale delle politiche energetiche adottate fino ad ora hanno sollecitato l'attenzione riguardo al contenimento dei consumi energetici e all'utilizzo di fonti rinnovabili. Per farci un'idea del solo contributo dell'edilizia basta pensare che in media, in Europa, una persona trascorre circe il 90% del proprio tempo in un edificio e che circa il 50% delle risorse naturali è impiegato per realizzazioni edilizie, le quali sfruttano intorno al 45% delle risorse energetiche e contribuiscono a produrre quasi la metà dei rifiuti totali.

Questo può bastare per far capire che il sistema casa acquisterà un'importanza sempre maggiore e dovrà quindi esprimere il massimo del comfort naturale col minor sovraccarico energetico e di inquinamento.

Per questo motivo, col passare del tempo si è focalizzata l'attenzione sulle prestazioni energetiche degli edifici, sia residenziali sia del settore terziario, portando l'Unione Europea e anche i vari Paesi membri singolarmente a emanare direttive, leggi e norme relative al rendimento energetico degli edifici, con lo scopo di affrontare in modo globale il contenimento dei consumi comprendendo tutti i contributi, dal riscaldamento alla climatizzazione, dalla produzione di acqua calda sanitaria all'illuminazione.

Da una prospettiva più prossima al cittadino, ci si può rendere conto che è anche interesse del consumatore, sia esso acquirente o affittuario di un immobile, sapere se l'edificio consente o meno un risparmio energetico: una casa, o un qualsiasi altro fabbricato, realizzato senza nessun accorgimento dal punto di vista energetico, oltre a causare un maggiore inquinamento produce anche un aggravio di spese per la persona che lo abita e perde progressivamente valore nel tempo. Un edificio non adeguatamente isolato, o che non possa ricorrere a fonti energetiche rinnovabili, o che non sia soggetto a un controllo dei consumi (di tipo manuale o automatico), inevitabilmente genera costi più elevati; di conseguenza, i vantaggi di una ristrutturazione più consapevole riguardano non solo un risparmio diretto sui consumi, ma anche una minore spesa per ciò che riguarderà i lavori di manutenzione.

Per regolare e semplificare il passaggio di informazioni da personale esperto in materia (progettisti o venditori) verso l'utenza finale, sicuramente meno competente, è venuta in soccorso la Direttiva della Comunità Europea 2002/91/CE introducendo la certificazione energetica degli edifici. Secondo la Direttiva, il "rendimento energetico" dell'edificio è definito come la "quantità di energia consumata attraverso un uso standard dell'edificio". Pertanto, nel calcolo sono sommate l'energia utilizzata per il riscaldamento dell'ambiente e dell'acqua ad uso igienico-sanitario, per il raffrescamento estivo, per la ventilazione e per l'illuminazione; per avere il consumo reale globale vanno aggiunti poi anche tutti i consumi degli altri apparecchi elettrici, che tuttavia non contribuiscono alla determinazione della categoria energetica.

Il Certificato Energetico è un documento che descrive sinteticamente le caratteristiche di un edificio dal punto di vista sia dell'isolamento termico sia dal punto di vista dei consumi e

permette di comprendere facilmente in che modo il fabbricato possa contribuire a risparmiare energia.

Il suo scopo è quindi quello di rappresentare in maniera sommaria la prestazione energetica dell'edificio attribuendogli una sorta di "etichetta", come accade per i moderni elettrodomestici; un'unica lettera (da A+, A, B, fino a G), infatti, rappresenta il livello di classificazione determinato sulla base di indici prestazionali che tengono in considerazione l'efficienza dell'impianto di riscaldamento e di climatizzazione estiva, la produzione di acqua calda sanitaria, il ricorso all'illuminazione artificiale e l'eventuale utilizzo di fonti energetiche rinnovabili; tutto questo con l'obiettivo di consentire al consumatore di fare un opportuno confronto rispetto ai valori di riferimento previsti dalla legge o ai valori di altri immobili. Questo certificato diventa quindi indispensabile negli atti di compravendita e di locazione di ogni unità immobiliare, incidendo sensibilmente anche sul valore economico dello stesso.

Esso, già dalla data di introduzione doveva già essere obbligatoriamente redatto dai costruttori edili, tant'è che la violazione dell'obbligo di presentazione è sanzionata con un'ammenda da 5.000 € a 30.000 €; dal primo luglio 2009, l'obbligatorietà è estesa anche ai singoli cittadini che vendono l'immobile, ma al momento il non adempimento non è sanzionabile.

Secondo la legge, i possibili certificatori possono essere:

- enti pubblici e organismi di diritto pubblico operanti nel settore dell'energia e dell'edilizia;
- tecnici abilitati (geometri, architetti, ingegneri, periti agrari, purché iscritti in un albo);
- organismi pubblici e privati qualificati ad effettuare attività di ispezione nel settore delle costruzioni edili;
- società di servizi energetici (ESCO)⁵².

Nell'attuale fase transitoria, in attesa delle linee guida nazionali, il Certificato Energetico può essere sostituito da un "Attestato di Qualificazione Energetica", avente uguale valore, il quale può essere rilasciato da un professionista anche legato alla proprietà dell'immobile o coinvolto nelle fasi di progettazione o di realizzazione dell'edificio (ad esempio il progettista o il direttore dei lavori). In ogni caso, le Regioni che hanno legiferato autonomamente in materia hanno fissato un proprio sistema di accreditamento dei professionisti abilitati.

Per quanto riguarda i contenuti minimi, un certificato standard deve riportare le seguenti informazioni:

- Valori di prestazione energetica dell'edificio:
 - Fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione invernale (E_H): è il fattore che esprime il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell'ambiente. Gli elementi che influenzano maggiormente questo parametro sono: località in cui è sito l'edificio, trasmittanza termica di pareti, infissi, coperture e solette, orientamento rispetto ai punti cardinali ed esposizione, ambienti adiacenti all'edificio (contro-terra, altri edifici riscaldati...), dispositivi per il ricambio d'aria controllato.
 - Fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione estiva (E_C): identico al precedente ma relativo all'estate.

⁵² Il D.Lg. 115/08 definisce una ESCO come: "persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, ciò facendo, accetta un certo margine di rischio finanziario."

- Fabbisogno specifico di Energia Primaria per la climatizzazione invernale (EP_H): è il parametro che esprime il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'ambiente tenendo in considerazione tutti i fattori relativi all'impianto termico. Più è basso tale valore migliore è la prestazione energetica. Gli elementi che influenzano maggiormente questo parametro sono gli stessi dell' E_H , con l'aggiunta dell'impianto di riscaldamento (rendimento, potenza, distribuzione, sistema elettrico...).
- Fabbisogno specifico di Energia Primaria per la climatizzazione estiva (EP_C): come il precedente ma relativo all'estate.
- Fabbisogno specifico di energia primaria per l'acqua calda sanitaria (EP_W): è il fabbisogno di energia primaria del generatore di calore destinato a scaldare l'acqua per usi igienico-sanitari; dipende dalla superficie utile (mq) e dalla destinazione d'uso dei locali (residenziale, alberghi, uffici...).
- Fabbisogno specifico di energia primaria per l'illuminazione (EP_{ILL}): è il fabbisogno di energia necessario ad alimentare l'impianto di illuminazione artificiale; dipende dalle caratteristiche degli apparecchi illuminanti (rendimento, potenza, ecc.) e dal sistema di regolazione adottato (ON/OFF, dimmerazione, regolazione a zone, ecc.).
- Contributo energetico specifico da fonti rinnovabili (E_{FER}): è il fattore che esprime il contributo energetico di impianti a fonti rinnovabili (solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, fotovoltaico per la produzione di corrente elettrica).
- Classe Energetica dell'edificio: dalla classe **A+** (meno energivoro) alla **G** (alti consumi, in questa categoria rientrano solitamente edifici di vecchia costruzione).

Emissioni Gas Serra (principalmente CO_2 , misurate in $[kg/m^2\text{anno}]$);

- Possibili interventi migliorativi del sistema edificio-impianto.

Il valore indicato per ogni grandezza riguardante l'ambito energetico viene espresso in $[kWh/m^2\text{anno}]$ e rappresenta la quantità di energia necessaria alla fonte, nell'arco di un anno e relativa a un metro quadrato, per gli fornire i servizi precedentemente descritti. L'ultimo punto costituisce degli eventuali suggerimenti da parte del certificatore in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione.

Nelle due immagini seguenti si possono vedere degli esempi di certificazione (nello specifico relativi alla Regione Lombardia), per capire quali informazioni sono riportate e in che modo. I parametri centrali su cui si basa la classificazione finale sono il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e, solo più recentemente, quello per la climatizzazione estiva, riferiti entrambi ad periodo di un anno per ogni metro quadrato di superficie.

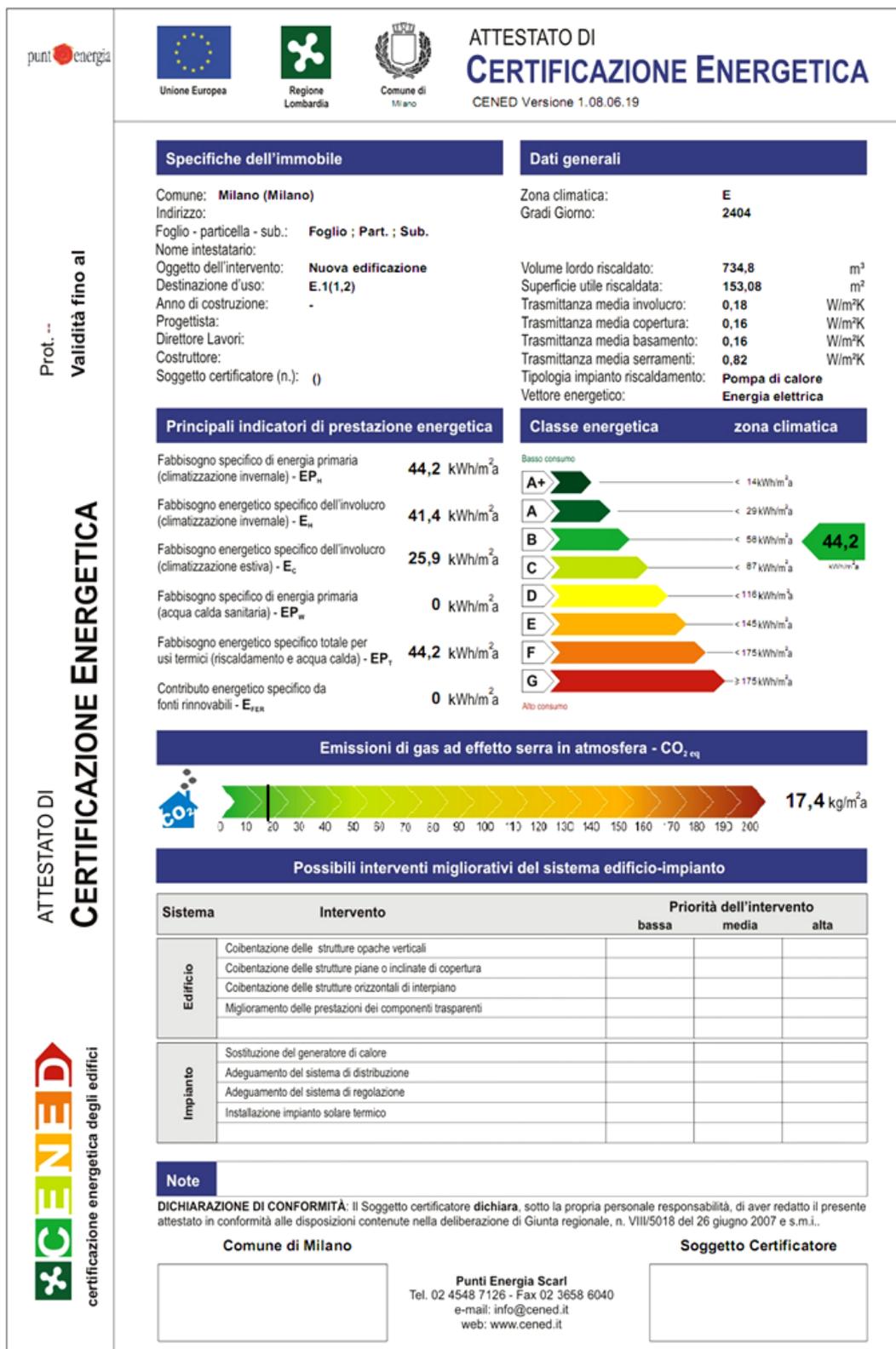


Figura A.1 – Esempio di vecchio attestato di certificazione energetica secondo la Regione Lombardia.

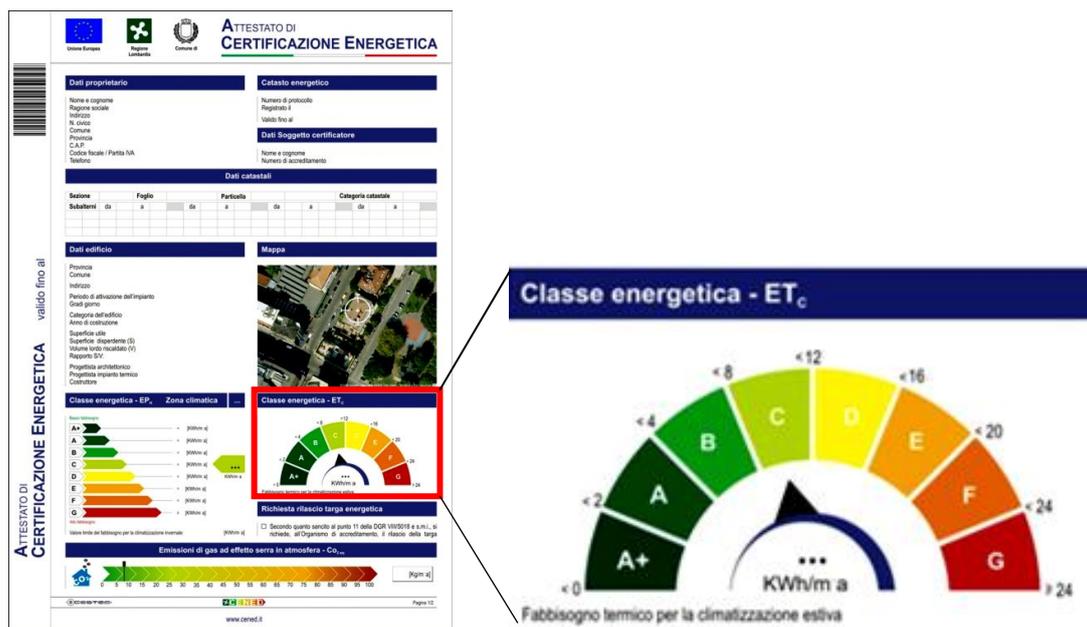


Figura A.2 – Esempio di nuovo attestato di certificazione energetica secondo la Regione Lombardia, comprendente anche il fabbisogno termico per la climatizzazione estiva.

A.2 Evoluzione normativa in campo energetico

Sono trascorsi ormai cinque anni dal recepimento in Italia, tramite il D.Lg. 192/05 e del successivo D.Lg. 311/06, della Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici. Purtroppo però siamo ancora molto lontani dagli obiettivi che la Direttiva si poneva, inoltre il quadro normativo nazionale oltre a non essere completo è molto eterogeneo e differente da Regione a Regione. Questo ha fatto sì che in Italia si sviluppasse una politica energetica a più velocità tra le diverse Regioni, alcune fermamente legate alle norme preesistenti altre invece proiettate verso il futuro con provvedimenti autonomi in materia.

Vediamo come si è arrivati a questa situazione descrivendo l'evoluzione legislativa che ha interessato questo settore.

Il primo provvedimento in materia di risparmio energetico in Italia si ha con la legge 373/76, “Norme per il contenimento energetico per usi termici negli edifici”, e i suoi decreti attuativi (D.P.R. 1052/77 e D.M. 10 marzo 1977), che fissavano limiti alla potenza degli impianti di riscaldamento attraverso un coefficiente volumetrico tralasciando l'efficienza degli impianti.

Agli inizi degli anni '90, oltre all'aspetto impiantistico si considera anche quello edilizio, ovvero l'involucro abitativo; è infatti con la legge 10/91 “Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia” che si regola il contenimento del consumo di energia negli edifici. In accordo con la politica energetica della Comunità Europea; la legge intende favorire ed incentivare:

- l'uso razionale dell'energia;
- il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo dei manufatti;
- l'utilizzazione di fonti rinnovabili di energia;
- la sostituzione degli impianti nei settori a più elevata intensità energetica con impianti più efficienti;

- l'introduzione di figure tecniche responsabili della conservazione e dell'uso razionale dell'energia, quali l'Energy Manager.

Essa tratta in modo organico le problematiche del risparmio energetico e si propone di risparmiare energia agendo sull'involucro dei nuovi edifici e sull'efficienza degli impianti regolandone la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione: viene definito il Fabbisogno Energetico Normalizzato (FEN), un metodo di calcolo e delle procedure per la certificazione energetica dei nuovi edifici e degli edifici esistenti. L'art. 30, di fatto precursore della Direttiva 2002/91/CE, introduce l'attestato di certificazione energetica degli edifici, il quale deve essere portato a conoscenza dell'acquirente o del locatario in fase di compravendita o locazione; questi, a spese proprie, hanno il diritto di richiederlo al Comune ove è ubicato l'edificio, inoltre dovranno rinnovarlo almeno ogni 5 anni.

Purtroppo, il decreto attuativo per definire le modalità con cui operare, che doveva essere fatto entro 90 giorni, non venne mai emanato. Come spesso accade in Italia, infatti, all'emanazione di leggi anche importanti non seguono, nei tempi stabiliti, gli strumenti di attuazione e di controllo. Un esempio è l'approvazione del decreto attuativo dell'art. 4 della legge 10/91 da parte del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nel luglio del 2005, dopo ben 14 anni rispetto a quanto previsto.

Per circa dieci anni, a conti fatti, non succede nulla a parte la pubblicazione del D.Lg. 112/98 che dà la possibilità ad ogni Regione di prepararsi un proprio percorso di certificazione energetica degli edifici, causando di fatto, in mancanza di un preciso regolamento a carattere nazionale, quella disomogeneità tra i vari Governi regionali oggi presente sul territorio nazionale.

Nel 2002 arriviamo finalmente all'emanazione della Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici, vincolante per gli Stati membri dell'Unione e recepita entro il gennaio 2006. Gli obiettivi generali della Direttiva sono: la promozione del miglioramento della prestazione energetica degli edifici nella Comunità tenendo conto delle diverse condizioni climatiche locali e il miglioramento della trasparenza del mercato immobiliare. A tal fine si dovranno definire migliori livelli prestazionali che tengano conto del rapporto costi/benefici e che favoriscano lo sviluppo delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica. La Direttiva prevede quindi:

- l'adozione da parte di ogni Stato membro di una metodologia per il calcolo integrato dell'energia edificio/impianto (art. 3);
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico per gli edifici di nuova costruzione e per quelli di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni (artt. 4-5-6);
- la certificazione energetica degli edifici (art. 7);
- l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento (art. 8).

Il calcolo del rendimento energetico degli edifici sarà eseguito con metodologie anche diverse tra Regione e Regione, ma comunque tali da prendere in considerazione i seguenti aspetti: dalla coibentazione all'esposizione, dal tipo di impianto (riscaldamento, condizionamento e illuminazione per il terziario) all'impiego delle fonti di energia rinnovabili e alle caratteristiche architettoniche dell'edificio.

Secondo la Direttiva, la certificazione energetica degli edifici deve consentire al proprietario di fare una corretta valutazione "costo/qualità energetica" dell'immobile acquistato, nuovo o usato che sia. Deve consentire al consumatore di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio e deve essere correlato da raccomandazioni per il miglioramento dello

stesso in termini di costi-benefici. Tale attestato deve essere messo a disposizione del proprietario o del futuro acquirente in fase di costruzione, compravendita o locazione ed avrà una durata di 10 anni.

In Europa diversi sono i Paesi che si sono mossi con propri sistemi di certificazione, tra i quali: la Danimarca, l'Austria, la Polonia, l'Olanda, la Francia e la Germania

Nel nostro Paese, come conseguenza del D.Lg. 112/98 e in attesa del recepimento, alcuni Enti Locali hanno iniziato a promuovere sul proprio territorio delle politiche energetiche in maniera però non uniforme tra loro. La Regione Lombardia, con la L.Rg. 39/03 "Norme per il risparmio energetico negli edifici e la riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti", e la Provincia di Milano, che ha avviato il "Tavolo Energia & Ambiente" con l'obiettivo di creare delle linee guida contenenti una serie di norme per la riduzione dei consumi e per promuovere le politiche energetiche a livello locale, hanno spinto per esempio verso l'inserimento nei regolamenti edilizi delle tecniche bioclimatiche. Nello stesso periodo anche la Provincia Autonoma di Bolzano ha avviato un sistema di certificazione energetico (il protocollo Casa Clima), che promuove il costruire in modo sostenibile per ridurre i costi di riscaldamento.

Nell'agosto 2005 l'Italia recepisce finalmente la Direttiva 2002/91/CE con il D.Lg. 192/05, in cui si parla di certificazione energetica degli edifici indicandone i tempi e i modi di applicazione dell'obbligatorietà. Successivamente, questo decreto viene integrato con il D.Lg. 311/06 sul rendimento energetico il quale:

- prevede la certificazione energetica degli edifici secondo le seguenti disposizioni:
 - a decorrere dal 1° luglio 2007, agli edifici di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile;
 - a decorrere dal 1° luglio 2008, agli edifici di superficie utile fino a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile con l'esclusione delle singole unità immobiliari;
 - a decorrere dal 1° luglio 2009 alle singole unità immobiliari, nel caso di trasferimento a titolo oneroso; in questo caso il documento dovrà essere messo a disposizione dell'inquilino che prende in affitto l'appartamento;
 - a decorrere dal 1° gennaio 2007, l'attestato di certificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessata, [...] è necessario per accedere agli incentivi ed alle agevolazioni di qualsiasi natura, [...] finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'unità immobiliare, dell'edificio o degli impianti;
 - a decorrere dal 1° luglio 2007, tutti i contratti, nuovi o rinnovati, relativi alla gestione degli impianti termici o di climatizzazione degli edifici pubblici, [...], debbono prevedere la predisposizione dell'attestato di certificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessati entro i primi sei mesi di vigenza contrattuale, con predisposizione ed esposizione al pubblico della targa energetica;
 - fino alla data di entrata in vigore delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, [...] l'Attestato di certificazione energetica degli edifici è sostituito a tutti gli effetti dall'attestato di qualificazione [...] o da una equivalente procedura di certificazione energetica stabilita dal comune con proprio regolamento antecedente alla data dell'8 ottobre 2005.
 - trascorsi dodici mesi dall'emanazione delle linee guida nazionali [...], l'Attestato di Qualificazione Energetica o l'equivalente procedura di certificazione energetica stabilita dal Comune perdono la loro efficacia.
- consente di recepire le normative UE e di migliorare notevolmente l'efficienza energetica degli edifici, favorendo anche l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia.

- stabilisce che per gli edifici immessi sul mercato immobiliare sia obbligatorio dichiarare il consumo energetico;
- prevede tempi più stretti per adeguare le tecnologie edilizie ad efficaci livelli di isolamento termico (vengono anticipati al 1° gennaio 2008 i livelli di isolamento termico previsti per il 1° gennaio 2009 e viene introdotto un livello di isolamento molto più incisivo dal 1° gennaio 2010),
- prevede l'obbligo per tutti i nuovi edifici di fare uso di fonti rinnovabili (solare termico o geotermia) per una frazione almeno del 50% del fabbisogno per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e di un impianto fotovoltaico con potenza di picco minima pari a 0,2 kW per ogni unità abitativa (comma 350 L. Finanziaria 2007);
- introduce nella pianificazione del territorio il parametro energetico (il che vuol dire che le Regioni saranno tenute a considerare fra gli strumenti di pianificazione ed urbanistici di competenza le soluzioni necessarie all'uso razionale dell'energia ed all'uso di fonti energetiche rinnovabili, con indicazione anche in ordine all'orientamento ed alla conformazione degli edifici da realizzare per massimizzare lo sfruttamento della radiazione solare).

Purtroppo, i decreti attuativi che dovevano fornire gli strumenti per l'avvio della certificazione energetica non furono emanati nei tempi dovuti (cioè dopo 120 e 180 giorni), ma con un ritardo di oltre tre anni. Alcune Regioni quindi, in attesa del recepimento nazionale, avviarono propri sistemi di certificazione energetica, con proprie regole e proprie metodologie di calcolo, alcune definendo anche i software da utilizzare.

La Provincia autonoma di Bolzano è quella che si è mossa per prima: per gli edifici nuovi e ristrutturati l'Attestato di Efficienza Energetica è obbligatorio sin dal 2004, e adottato in via volontaria già dal 2002. Qui, dove il freddo non manca, il certificato di abitabilità degli edifici di nuova costruzione viene rilasciato solamente se il consumo non supera i 70 kWh/m²anno, contro una media italiana compresa fra i 140 e i 170 kWh/m²anno per il solo riscaldamento (senza parlare poi degli edifici più vecchi, che si aggirano intorno ai 300 kWh/m²anno).

A livello regionale, la Lombardia guida il gruppo delle Regioni virtuose: dal 2007 a oggi ha già formato 8.500 professionisti e rilasciato circa 100.000 certificati energetici. Segue l'Emilia Romagna, con 1.700 certificatori accreditati e circa 10mila attestati. Pienamente operativa anche la Liguria che ha emesso 1.600 certificati.

Tale situazione tuttavia non ha avuto effetti del tutto positivi, in quanto ha causato confusione tra gli operatori del settore poiché Regioni confinanti si sono trovate ad adottare procedimenti diversi non solo sulle metodologie di calcolo ma anche su chi dovessero essere i soggetti abilitati alla certificazione energetica.

La successiva legge 133/08, poi, aggiunge ulteriore confusione cancellando l'obbligo, contenuto nei due precedenti decreti, di allegare la certificazione energetica agli atti di compravendita e locazione; questa ne abroga anche le sanzioni previste ma mantiene comunque l'obbligatorietà di produrre tale documento e consegnarlo al compratore o locatario. L'acquirente, pertanto, può pretendere di conoscere i consumi della casa non solo al momento della stipula del contratto ma anche preventivamente, affinché possa deciderne l'acquisto in funzione anche delle spese di gestione stimate.

Nonostante il percorso burocratico ed economico sia piuttosto tortuoso, sul versante tecnico si arriva ad un'importante risultato concreto: il 13 settembre 2007, infatti, entra a far parte del corpo normativo nazionale la UNI EN 15217 "Metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici", versione ufficiale in lingua inglese della corrispondente norma europea EN 15217 "Energy performance of buildings - Methods for

expressing energy performance and for energy certification of buildings”; questa norma è stata preparata in breve tempo da un apposito comitato tecnico allo scopo di predisporre la regolamentazione tecnica relativa alla Direttiva Europea 2002/91/CE e armonizzare così a livello comunitario almeno la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

Fatto questo seppur piccolo passo, ma sempre in attesa degli strumenti attuativi, nel 2008 viene emanato un altro provvedimento importante, il D.Lg. 115/08 di recepimento della Direttiva Europea 2006/32/CE sull'efficienza energetica e sui servizi energetici. Nel decreto sono contenuti molti richiami alla certificazione energetica, quasi come se con questo provvedimento si volesse in qualche modo sopperire alle mancanze dei decreti attuativi del D.Lg. 192/05. Infatti, in esso vengono definite le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e degli impianti e i requisiti dei soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici.

Le medesime metodologie vengono finalmente riunite e sviluppate con la pubblicazione del D.P.R. 59/09, recante l'attuazione dell'art.4 comma 1 del D.Lg. 192/05. In tale provvedimento si definiscono i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'ACS, per la prestazione energetica degli impianti termici per la climatizzazione estiva e, limitatamente al terziario, per l'illuminazione artificiale degli edifici. Le nuove norme si applicano all'edilizia pubblica e privata e alla ristrutturazione di edifici esistenti e adottano le disposizioni contenute nella norma tecnica nazionale UNI TS 11300:2008. Il decreto recita che tali disposizioni si applicano a quelle Regioni e Province Autonome che non abbiano ancora adottato propri provvedimenti in applicazione della Direttiva 2002/91/CE; nel disciplinare tale materia esse possono definire metodologie di calcolo diverse da quelle nazionali, ma che trovino in queste stesse metodologie indirizzo e riferimento, inoltre possono fissare requisiti minimi di efficienza energetica ancora più rigorosi tenendo conto dei costi di costruzione e di gestione dell'edificio oltre ai costi a carico dei cittadini. In ogni caso, le Regioni e le Province Autonome che hanno già una propria normativa in materia devono attuare un graduale ravvicinamento dei propri provvedimenti con le norme statali.

Finalmente, il 26 giugno 2009 viene emanato il D.M. con le linee guida sulla certificazione energetica “al fine di garantire la promozione di adeguati livelli di qualità dei servizi di certificazione, assicurare la fruibilità, la diffusione e una crescente comparabilità delle certificazioni energetiche sull'intero territorio nazionale in conformità alla direttiva 2002/91/CE, promuovendo altresì la tutela degli interessi degli utenti”. Esso rende quindi operativa la certificazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale, ma nonostante questo, ad oggi, non esiste ancora uniformità in Italia. Ulteriori Regioni si sono unite alle precedenti nel recepire la certificazione energetica (Piemonte, Toscana e Puglia) altre hanno invece adottato dei protocolli volontari di sostenibilità ambientale degli edifici (Friuli Venezia Giulia, Marche, Umbria e Lazio). Però manca ancora il D.P.R. che dovrà definire con esattezza chi sono i soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici.

Come si è evidenziato nelle righe precedenti, il percorso evolutivo della certificazione energetica non è ancora finito. Per raggiungere quelli che sono gli obiettivi che la Direttiva si prefigge si dovrà completare il prima possibile il quadro normativo e contemporaneamente assicurare un'omogeneità su tutto il territorio nazionale, a livello sia di metodologie di calcolo sia di procedure di classificazione e certificazione.

Osservazioni

In relazione a quanto detto fino a questo punto, gli obiettivi della certificazione energetica degli edifici si possono quindi riassumere nel:

- definire un indicatore del consumo energetico dell'edificio nell'interesse dell'utente e per collegare il valore dell'edificio nel mercato immobiliare al suo consumo energetico;
- rendere più trasparenti i rapporti con i fornitori di energia e di servizi energetici;
- identificare gli edifici che necessitano di interventi di efficienza più approfonditi;
- fornire elementi per l'implementazione di interventi di risparmio energetico.

Questo sistema dovrebbe col tempo migliorare sempre più la trasparenza e l'efficienza del mercato immobiliare, fornendo ai potenziali acquirenti e locatari una informazione oggettiva della prestazione energetica dell'immobile. In un contesto che racchiude sia la progettazione di nuovi edifici ad elevata prestazione sia la ristrutturazione di quelli già esistenti, risulta evidente che la certificazione energetica degli edifici porterà effetti positivi sul loro valore di mercato, incentivando la riqualificazione degli edifici a basse prestazioni.

Tuttavia essa non sarà vincolante nel caso di edifici esistenti, ossia non sarà necessario intervenire in tutti quei casi di edifici che "consumano" molto, potrà però modificare le abitudini nella compravendita entrando a far parte del corredo dello stabile in vendita. È possibile infatti che, in un futuro non lontano, anche gli annunci immobiliari vengano modificati per includere questa dicitura (del tipo "vendesi appartamento 70 mq, vista mare, classe energetica B"). In aggiunta a questo ci saranno sempre più persone interessate ad acquistare edifici migliori dal punto di vista della coibentazione e di conseguenza le compravendite saranno influenzate in maniera sensibile dal valore energetico.

Se consideriamo poi anche il meccanismo delle agevolazioni fiscali (introdotte prima con la legge 248/2006 che rimborsava il 36% delle spese sostenute in dieci anni, poi gradualmente modificate fino ad arrivare al 55% in tre anni con la Finanziaria del 2007), ci accorgiamo che esso ha riscosso un interesse sempre maggiore fino al 2007 crescendo poi con continuità fino al 2008, anno dell'ascesa record del prezzo del petrolio e dalla crisi economica internazionale ancora in atto.

Nonostante da un lato i cittadini e gli operatori abbiano provato ad avviare processi locali di "adeguamento" alle nuove norme, dall'altro è anche comprensibile che l'importanza e le novità della certificazione nell'edilizia siano passate in secondo piano rispetto agli eventi segnalati. A complicare ancora di più questa situazione ci si mettono le incertezze introdotte sul mercato dai provvedimenti d'urgenza varati dal Governo.

Il paradosso è che, in un momento in cui servirebbe alimentare la spesa, specie quella sul miglioramento dell'efficienza energetica la quale produce benefici a catena, ai cittadini ed al mercato si dà il segnale contrario alimentando invece dubbi e paure.

A.3 Procedura di certificazione energetica di un edificio

Al fine di poter commentare ed interpretare l'esito della certificazione, che è condensato in una lettera dalla A alla G, bisogna illustrare quali sono tutti gli aspetti che intervengono nell'iter valutativo e qual è il loro contributo al risultato finale.

Per portare a termine la valutazione, sia in caso di edificio nuovo sia in caso di edificio esistente, è necessario conoscere nella maniera più dettagliata possibile le caratteristiche dell'involucro edilizio e degli impianti di riscaldamento e climatizzazione estiva, nonché del modo in cui viene maggiormente usato l'immobile. Una volta identificato l'oggetto, esso va caratterizzato geograficamente dal punto di vista delle condizioni climatiche cui sarà soggetto;

a questo punto è possibile quindi simularne il funzionamento nell'arco di un anno e prevederne i consumi.

A.3.1 Involucro

Innanzitutto è necessario conoscere le caratteristiche termiche delle superfici che circondano l'ambiente abitato, ovvero quelle che lo delimitano dall'esterno; a questo proposito vanno definite nel dettaglio la geometria e le stratigrafie degli elementi componenti l'involucro, ossia le pareti perimetrali, le porte, le finestre, il solaio di copertura, il solaio di chiusura inferiore, oltre alle eventuali pareti divisorie che separano diverse zone termiche indipendenti (come ad esempio i vari appartamenti di un complesso residenziale) o confinano con ambienti non climatizzati come cantine o vani scala.

Per caratterizzare una stratigrafia dal punto di vista termo-igrometrico, per ogni strato serve indicare:

- spessore s [m];
- conduttività termica λ [W/mK];
- conduttanza unitaria generica C [W/m²K] o resistenza termica unitaria generica $1/C$ [m²K/W]; questo valore viene fornito in caso di componenti con dimensioni modulari, come ad esempio i mattoni forati, per i quali la conduzione termica non è funzione lineare dello spessore ma è determinata sperimentalmente per ogni taglia del prodotto; negli altri casi, invece, i valori di conduttanza unitaria interna o resistenza termica unitaria interna si ricavano in funzione dello spessore e della conduttività (il primo vale λ/s , il secondo è il suo reciproco, ovvero s/λ);
- densità ρ [kg/m³];
- massa areica M [kg/m²];
- calore specifico c [J/kgK];
- capacità termica areica C_t [kJ/m²K].

Con questi dati si procede al calcolo dei seguenti valori, necessari e sufficienti a definire in maniera esaustiva le superfici opache:

- trasmittanza termica totale U [W/m²K], calcolata come l'inverso della somma delle resistenze termiche unitarie interne (compresi gli strati liminari interno ed esterno);
- capacità termica areica totale $C_{t,TOT}$ [kJ/m²K], calcolata come la somma delle capacità termiche di ogni strato.

Per quanto riguarda i serramenti, la trasmittanza termica è solitamente fornita dal produttore in quanto elemento tecnico a sé stante, mentre la capacità termica è ritenuta trascurabile a causa degli spessori molto ridotti rispetto a quelli delle pareti. Per avere trasmittanza e capacità termica in caso di pareti con serramenti, è sufficiente fare la media dei relativi valori pesata sulle aree.

A.3.2 Zonizzazione, carichi interni e apporti gratuiti solari

Per capire bene in che modo viene usato l'edificio, ovvero se esso viene considerato un volume unico oppure è gestito in maniera diversificata nel tempo e/o nello spazio, si possono definire vari tipi di zone. Questa differenziazione serve ad aggiungere informazioni utili a migliorare la stima dei fabbisogni termici, in quanto una generalizzazione potrebbe portare a risultati anche molto lontani dalla realtà, facendo perdere di significato al percorso valutativo.

In una corretta procedura, quindi, vanno distinte tutte le varie zone che compongono l'ambiente in esame, definendone la geometria, l'occupazione, i parametri di set-point, nonché

i principali accessori interni che contribuiscono alla produzione di calore (anche sottoforma di vapore acqueo!); alcuni esempi di zone possono essere:

- zone riscaldate: si tratta di tutti quegli spazi occupati frequentemente dalle persone, o semplicemente provvisti di impianto di riscaldamento/climatizzazione; queste, a loro volta, possono essere ulteriormente suddivise in funzione del periodo di occupazione (il caso classico è raggruppare cucina e soggiorno nella “zona giorno” e le camere da letto nella “zona notte”, in modo da razionalizzare maggiormente l’uso dell’impianto di riscaldamento/climatizzazione); le zone di questo tipo vengono caratterizzate per il calcolo da alcuni parametri di default legati alle condizioni standard di benessere (risultato di indagini statistiche), inerenti alla temperatura e all’umidità relativa;
- zone non riscaldate: al contrario delle precedenti, sono quegli spazi frequentati in maniera temporanea e non dotati di terminali impiantistici di riscaldamento/climatizzazione; si tratta dei vani scala/ascensore, qualora siano nettamente delimitati rispetto agli altri ambienti (non frequentemente nelle abitazioni singole, ma quasi sempre in caso di edifici come condomini, alberghi ecc.), oppure spazi dedicati ai box auto, sottotetti, ripostigli o magazzini; le zone di questo tipo non hanno un settaggio standard, ma il loro comportamento è passivo e simulato in funzione degli ambienti circostanti, siano essi riscaldati o esterni;
- zone a temperatura fissata: questo è un concetto più che altro legato alle fasi intermedie del calcolo di più unità immobiliari nello stesso edificio; se si sta parlando di un appartamento facente parte di un complesso residenziale, nell’arco della simulazione questo è una “zona riscaldata” con comportamento tempo-variante, mentre le zone riscaldate circostanti sono considerate alle condizioni costanti standard di progetto, appunto “zone a temperatura fissata”.

I carichi interni, poi, sono tutti quei contributi termici (sia sensibili sia latenti) offerti da persone e cose presenti nell’ambiente da esaminare. Per quanto riguarda le persone, si parla di una certa potenza termica generata in funzione dell’attività svolta, la quale può essere sedentaria per locali adibiti ad ufficio o più movimentata se ci si riferisce ad esempio a palestre; questa va poi semplicemente moltiplicata per il numero di occupanti stimato. La restante parte degli apporti è affidata alle attrezzature meccaniche particolarmente influenti come il forno, i fuochi della cucina e anche la doccia in quanto fonte di vapore acqueo e quindi calore (rappresentato dall’energia ceduta all’ambiente in fase di condensazione), senza dimenticare l’illuminazione, in particolar modo se si utilizzano ancora lampadine ad incandescenza.

Gli apporti solari sono invece influenzati dalla localizzazione e dal posizionamento dell’immobile, e sono calcolati mediante integrazione su un anno dei valori medi (giornalieri o addirittura orari in base alla precisione di stima richiesta) dell’irraggiamento solare, variabile in funzione dell’orientamento, della latitudine e del periodo dell’anno. Si avrà quindi che, nel periodo estivo, l’apporto solare sarà svantaggioso in quanto tenderà ad aumentare l’energia da fornire per mantenere le condizioni di comfort interno, mentre in inverno avrà effetti benefici alleggerendo il carico affidato all’impianto di riscaldamento.

A.3.3 Fabbisogno termico dell’involucro e per la produzione di ACS

Una volta definiti tutti i contributi elencati in precedenza, mettendo a bilancio le prestazioni dell’involucro (energia dispersa in inverno e assimilata in estate), i carichi interni e gli apporti solari si possono ricavare tutte le informazioni sul comportamento termico passivo della “scatola” edilizia; il risultato è il fabbisogno netto, ovvero la quantità di energia termica che tramite un apposito impianto bisognerà fornire all’ambiente interno (distinta per ogni zona)

per mantenere, in relazione all'uso definito in partenza, le condizioni standard di comfort per tutto l'anno. Nello specifico, l'indice che compare nell'attestato conclusivo è rapportato a un metro quadrato di superficie calpestabile, per renderne generico il significato. Esso è suddiviso in due contributi distinti:

- fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la riscaldamento E_H [kWh/m²anno];
- fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione estiva E_C [kWh/m²anno].

Vi è poi un ulteriore significativa componente da analizzare, cioè quella relativa alla produzione di acqua calda per usi sanitari (che da ora in poi chiameremo ACS); anche in questo caso si tratta un fabbisogno specifico netto, che tiene in considerazione solo l'aspetto termico. Esso viene stimato a partire dalla quantità d'acqua calda che presumibilmente verrà utilizzata in un anno e dalle temperature di fornitura della stessa (sia all'ingresso sia all'uscita del generatore di calore), integrando poi il calcolo con le caratteristiche fisiche specifiche del fluido al fine di associarne l'equivalente contenuto calorico.

A.3.4 Fabbisogno di energia finale e primaria

Nel caso degli impianti di climatizzazione estiva e invernale, prima di arrivare all'energia finale è indispensabile passare dal *fabbisogno di energia finale*, che varia in funzione delle caratteristiche di rendimento della rete impiantistica e che sarà tanto maggiore rispetto a quello termico quanto maggiori saranno le dispersioni lungo il percorso di distribuzione. Proprio per questo vanno conosciuti, o almeno stimati in maniera sensata in fase di progetto, alcuni fattori:

- rendimento di generazione (se le generazioni invernale, estiva e per l'ACS sono diverse vanno diversificate);
- rendimento di distribuzione;
- rendimento di emissione;
- rendimento di regolazione.

Il fabbisogno di energia finale si ottiene quindi dividendo il fabbisogno termico per il "rendimento globale d'impianto", ovvero il prodotto di tutti i rendimenti sopra elencati.

Le voci relative al riscaldamento e alla climatizzazione estiva sono sufficienti a produrre l'Attestato di Qualificazione Energetica entro i confini della Regione Lombardia; secondo le nuove linee guida nazionali e la UNI EN 15217, invece, bisogna considerare anche il contributo dato dall'illuminazione artificiale. Poiché in questo caso non si ha un generatore interno all'utenza finale, non ci sono perdite di impianto e il fabbisogno rilevato è già quello finale.

Per simulare questo valore esiste un preciso metodo di calcolo; la norma UNI EN 15193-2008 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione", infatti, descrive come ricavare l'*indice numerico di energia per l'illuminazione* (LENI), ovvero il quantitativo di energia elettrica richiesta in un anno, per metro quadrato, per soddisfare i requisiti di comfort luminoso di un edificio. Si tratta di un procedimento particolarmente dettagliato, che tiene conto di numerosi fattori e che quindi riesce a fornire una stima molto precisa; per questo motivo è utilizzabile laddove siano conosciuti tutti gli input richiesti, ma non essendo sempre così a volte si ricorre a dati sperimentali medi. Per gli ambienti destinati ad uffici, ad attività ricettive o pubbliche o ricettive, invece, la norma contiene anche delle tabelle con dati standard per determinare l'indice in maniera semplificata.

Tuttavia i consumi di un edificio vengono incrementati anche in altri modi che non possono essere trascurati nel momento in cui si desidera fare un discorso a livello completo. Si tratta

sostanzialmente di tutte quelle utenze che, oltre all'impianto di illuminazione, richiedono energia elettrica; essa infatti, visto il trend evolutivo delle tecnologie legate all'edilizia, ricoprirà una quota sempre più importante all'interno del bilancio energetico degli edifici (già da qualche tempo per quanto riguarda i settori commerciali e del terziario, ma tra non molto anche nel residenziale). A questo proposito, anche se ciò non concorre alla classificazione energetica, è utile fare anche una stima annuale dell'utilizzo dei principali elettrodomestici e apparecchi tecnologici. In questo caso, qualora la fonte sia attendibile, ci si può affidare a dati statistici rilevati sperimentalmente riguardo il consumo medio nell'arco di un anno, altrimenti è necessario fare delle simulazioni, per ognuno di essi, partendo dal relativo profilo di consumo e ipotizzandone i periodi d'uso.

L'ultimo passo è quello di trasformare il fabbisogno finale in fabbisogno di energia primaria, ovvero quantificare i combustibili, i vettori o qualsiasi altra fonte utilizzata per la produzione di energia termica ed energia elettrica.

Per avere finalmente il consumo annuale di energia primaria bisogna rapportare l'energia finale al rendimento del vettore energetico; questo, nel caso del gas metano vale circa $1 \text{ kWh}_{\text{FINALE}}/\text{kWh}_{\text{EP}}$, mentre per il sistema di distribuzione nazionale dell'energia elettrica (utilizzata ad esempio per i gruppi frigoriferi e per gli ausiliari d'impianto) vale mediamente $0,46 \text{ kWh}_{\text{FINALE}}/\text{kWh}_{\text{EP}}$.

A.4 Metodi di classificazione

Poiché solo recentemente si è giunti a delle indicazioni comuni a livello europeo in merito alle modalità di calcolo della classe energetica degli immobili, nella fase di passaggio in cui ci troviamo oggi è ancora possibile avere a che fare con documenti redatti secondo metodi locali. Senza entrare eccessivamente nel merito si portano ad esempio tre metodi di calcolo: quello seguito dalla Regione Lombardia (il meno recente e prossimo all'abolizione), quello proposto dalla normativa europea (UNI EN 15217 del 2007), sulla base del quale andranno sviluppati quelli dei singoli Stati membri, e quello definitivo relativo al nostro Paese (D.M. 26/06/2009), rispondente appunto alle regole contenute nella UNI.

A.4.1 Regione Lombardia

A livello locale, per quanto riguarda la Regione Lombardia, l'assegnazione di una determinata classe è stata effettuata fino ad oggi valutando esclusivamente l'energia primaria necessaria a riscaldare un metro quadro di edificio per un anno (EP_H), sia esso destinato ad uffici o residenziale. A fronte di questo, le categorie energetiche sono suddivise come indicato in *Tabella A.1*, mentre il certificato vero e proprio è quello già visto in *Figura A.1* e in *Figura A.2*.

Classe A+	$EP_H < 14$
Classe A	$14 \leq EP_H < 29$
Classe B	$29 \leq EP_H < 58$
Classe C	$58 \leq EP_H < 87$
Classe D	$87 \leq EP_H < 116$
Classe E	$116 \leq EP_H < 145$
Classe F	$145 \leq EP_H < 175$
Classe G	$EP_H \geq 175$

Tabella A.1 – Classificazione energetica secondo la Regione Lombardia.

A.4.2 UNI EN 15217

Secondo questa norma, le prestazioni energetiche dell'edificio devono essere espresse mediante un "indicatore globale di prestazione energetica", definito come la media di tutte le forme di energia erogata ed esportata per mezzo di vettori energetici, normalizzata in funzione della superficie condizionata A_c . L'indicatore globale di prestazione energetica può riferirsi, oltre che all'energia primaria (EP), anche alle emissioni di CO₂ (mCO₂) o all'energia netta erogata normalizzata in funzione di specifici parametri definiti dalle politiche energetiche nazionali. In generale, comunque, l'indicatore di prestazione energetica può essere determinato a partire da dati standard, come ad esempio i valori di progetto, o dati realmente misurati. Nel primo caso, l'indicatore è detto *indicatore di energia standard*; nel secondo, *indicatore di energia misurata*.

La UNI afferma inoltre che è possibile esprimere i requisiti energetici di un edificio da un punto di vista globale oppure specifico. In caso di diverse prestazioni presenti all'interno di uno stesso immobile, dovute alla compresenza di spazi con funzioni differenti, una volta determinati gli indici specifici, relativi alle singole unità analizzate, l'indice globale si ottiene semplicemente rapportando alla superficie condizionata totale il prodotto di ognuno di essi per la relativa superficie di competenza.

La classificazione si basa sostanzialmente su due indici di riferimento, espressi in maniera generale in modo da poter essere adattati ad ogni realtà normativa autonoma:

- R_R : corrisponde al valore limite, rapportato al parametro considerato, che dovrà essere rispettato per le nuove costruzioni in conformità alle leggi nazionali e/o regionali (Energy Performance Regulation reference/benchmark);

$$R_R = \frac{EPR_r}{parametro} \quad [6]$$

- R_S : corrisponde al valore che ci si attende possa essere raggiunto approssimativamente dal 50% dal patrimonio edilizio nazionale o regionale, rapportato al parametro considerato (Building Stock reference/benchmark);

$$R_S = \frac{BS_r}{parametro} \quad [7]$$

In funzione di questi indici, l'intervallo di classificazione è indicato in *Tabella A.2*; in grassetto sono evidenziate la categoria limite per le nuove costruzioni (B) e la categoria di riferimento per il parco edilizio esistente (D).

Classe A	$EP < 0,5 R_r$
Classe B	$0,5 R_r \leq EP < R_r$
Classe C	$R_r \leq EP < 0,5 (R_r + R_s)$
Classe D	$0,5 (R_r + R_s) \leq EP < R_s$
Classe E	$R_s \leq EP < 1,5 R_s$
Classe F	$1,5 R_s \leq EP < 2 R_s$
Classe G	$EP \geq 2 R_s$

Tabella A.2 – Classificazione energetica globale secondo la UNI EN 15217.

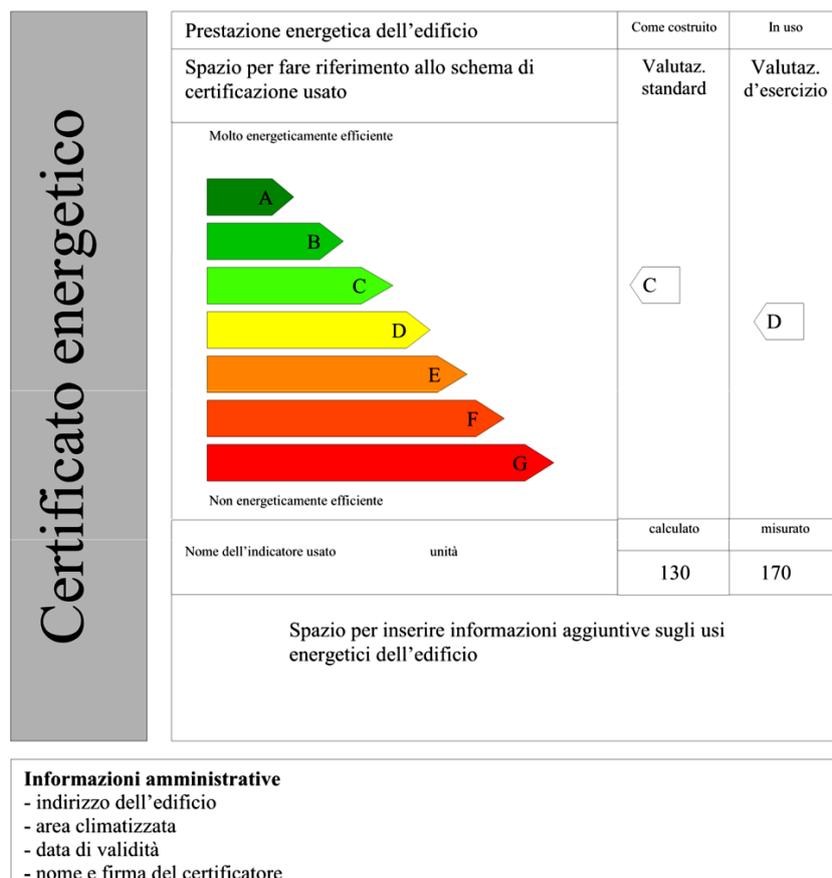


Figura A.3 – Esempio di Certificato Energetico secondo la UNI EN 15217.

A.4.3 D.M. 26/06/2009, linee guida nazionali

In base a quanto contenuto nel decreto, redatto sulla base della norma europea UNI EN 15217, la classe energetica globale dell'edificio è comprensiva di sottoclassi rappresentative dei singoli servizi energetici certificati: riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria e illuminazione. Nel caso di edifici residenziali tutti gli indici sono espressi in kWh/m²anno. Nel caso di altri edifici (residenze collettive, terziario e industria) tutti gli indici sono espressi in kWh/m³anno.

La prestazione energetica globale propria dell'edificio è data dalla seguente espressione:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill} \quad [8]$$

Dove:

- EP_i : indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
- EP_{acs} : indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;
- EP_e : indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
- EP_{ill} : indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Tuttavia, nella fase di avvio, ai fini della certificazione degli edifici si considerano solamente gli indici di prestazione di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, mentre per la climatizzazione estiva è prevista solamente una valutazione qualitativa (da I a V, come indicato in *Tabella A.3*) delle caratteristiche dell'involucro edilizio finalizzate a contenere il fabbisogno energetico; questa classificazione è valida per tutte le tipologie edilizie. Successivamente, con degli atti integrativi a questo provvedimento, si procederà ad estendere la certificazione a tutti i servizi energetici riguardanti l'edificio. Quindi per ora le precedenti espressioni diventano rispettivamente:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} \quad [9]$$

Fabbisogno di energia termica estiva [kWh/m ² anno]	Prestazioni	Qualità prestazionale
$EP_{e, involucro} < 10$	Ottime	I
$10 \leq EP_{e, involucro} < 20$	Buone	II
$20 \leq EP_{e, involucro} < 30$	Medie	III
$30 \leq EP_{e, involucro} < 40$	Sufficienti	IV
$EP_{e, involucro} \geq 40$	Mediocri	V

Tabella A.3 – Classificazione qualitativa dell'involucro per la climatizzazione estiva, secondo il D.M. 26/06/2009.

Nel decreto sono contenute anche classificazioni specifiche per la climatizzazione invernale e per l'ACS; nel nostro caso, però, riteniamo più utile indicare esclusivamente quella relativa alla prestazione energetica globale (*Tabella A.4*).

Classe A+	$EP_{gl} < (0,25 EP_{i,L(2010)} + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe A	$(0,25 EP_{i,L(2010)} + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (0,5 EP_{i,L(2010)} + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe B	$(0,5 EP_{i,L(2010)} + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (0,75 EP_{i,L(2010)} + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe C	$(0,75 EP_{i,L(2010)} + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (EP_{i,L(2010)} + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe D	$(EP_{i,L(2010)} + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (1,25 EP_{i,L(2010)} + 21 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe E	$(1,25 EP_{i,L(2010)} + 21 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (1,75 EP_{i,L(2010)} + 24 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe F	$(1,75 EP_{i,L(2010)} + 24 \text{ kWh/m}^2\text{anno}) \leq EP_{gl} < (2,5 EP_{i,L(2010)} + 30 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$
Classe G	$EP_{gl} \geq (2,5 EP_{i,L(2010)} + 30 \text{ kWh/m}^2\text{anno})$

Tabella A.4 – Classificazione energetica globale secondo il D.M. 26/06/2009.

$EP_{i,L(2010)}$ è il limite massimo ammissibile dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale in vigore a partire dal 1° gennaio. In *Tabella A.5* sono quindi riportati i valori che esso può assumere, variabili in funzione della destinazione d'uso, della zona climatica e del rapporto S/V; per i valori intermedi si procede mediante interpolazione lineare. Da ricordare che per il residenziale i valori sono espressi in kWh/m²anno, mentre per le altre destinazioni in kWh/m³anno.

S/V	A		B		C		D		E, F	
	Fino a 600 GG		Fino a 900 GG		Fino a 1400 GG		Fino a 2100 GG		Oltre 2100 GG	
	E.1 ⁵³	Altri	E.1	Altri	E.1	Altri	E.1	Altri	E.1	Altri
≤ 0,2	8,5	2	12,8	3,6	21,3	6	34	9,6	46,8	12,7
≥ 0,9	36	8,2	48	12,8	68	17,3	88	22,5	116	31

Tabella A.5 – Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, secondo il D.Lg. 311/2006, applicabili dal 1 gennaio 2010.

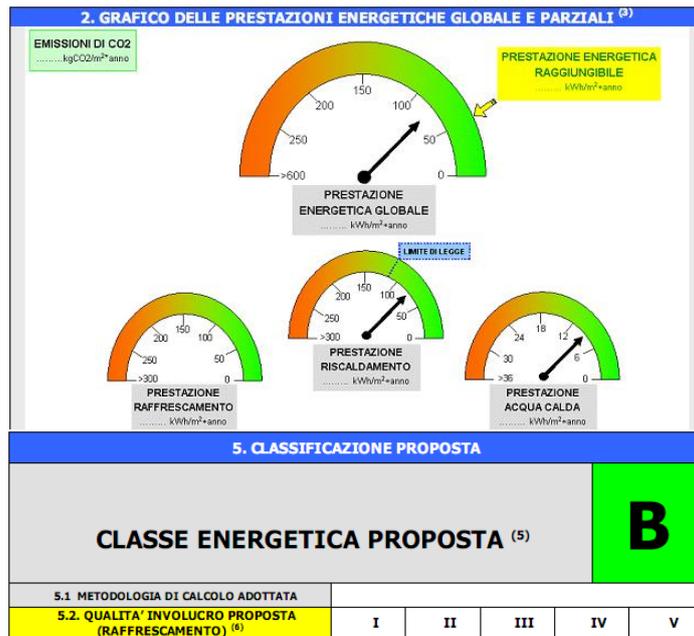


Figura A.4 – Stralci di certificato energetico redatto in fase di progetto secondo il D.M. 26/06/2009.

⁵³ Si intendono tutti gli edifici residenziali della categoria E.1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.

Bibliografia e sitografia

- G. G. Quaranta, "La domotica per l'efficienza energetica delle abitazioni - criteri di progettazione integrata, installazione impianti, esempi realizzativi, risparmio energetico", Maggioli Editore, 2009.
- M. Piano, "Energie rinnovabili e domotica - controlli ed ecosostenibilità nelle ZEB (Zero Energy Building), risparmio energetico, ESCO (Energy Service COmpany)", F. Angeli, 2008.
- S. Bellintani, "Manuale della domotica - tecnologie ed evoluzione dell'abitare - aree di progettazione integrata, stato dell'arte e sviluppi futuri del mercato nel settore immobiliare", Il Sole 24 ore, 2004.
- M. Capolla, "Progettare la domotica - criteri e tecniche per la progettazione della casa intelligente – 2ª Ediz.", Maggioli Editore, 2007.
- D. Trisciuglio, "Introduzione alla domotica – 3ª Ediz.", Tecniche Nuove, 2009.
- L. Galbiati, "Fonti, utenze e vettori energetici", estratto da: A. Guadagni (a cura di), "Prontuario dell'Ingegnere – 3ª Ediz.", pagg. XXII-970, Hoepli, 2003.
- ENEA, "Rapporto energia e ambiente 2009".
- ENEA, "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia 2009 – Consumi".
- ENEA, Report RSE/2009/114 "Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a uffici - usi termici - analisi del potenziale di risparmio energetico".
- ENEA, Report RSE/2009/115 "Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici residenziali".
- ENEA, Report RSE/2009/121 "Caratterizzazione dei consumi energetici nazionali delle strutture ad uso ufficio".
- ENEA, Report RSE/2009/163 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto. Caratterizzazione del parco immobiliare ad uso ufficio".
- ENEA, Report RSE/2009/165 "Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionale e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica".
- ENEA, Report RSE/2009/166 "Sviluppo di modelli di calcolo semplificati per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici".
- ENEA, Report RSE/2009/11 "Sistemi di gestione e controllo della luce naturale e artificiale".
- ENEA, Report RSE/2009/12 "Sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale applicati a diverse tipologie edilizie. Rapporto sugli esiti di simulazioni numeriche e sperimentazioni in campo".
- ENEA, "Per uscire dalla crisi: un Piano nazionale di intervento per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio pubblico", atti dall'incontro "Crisi economica e intervento pubblico: il caso degli investimenti in efficienza energetica", Roma, 26-02-2009.

- eERG (end-use Efficiency Research Group) - Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano, "Misure dei consumi di energia elettrica nel settore domestico. Risultati delle campagne di rilevamento dei consumi elettrici presso 110 abitazioni in Italia", 2004.
- ISO 13790:2008 "Calcolo fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento".
- UNI 10348 "Riscaldamento Degli Edifici - Rendimenti dei sistemi di riscaldamento".
- UNI TS 11300-1:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale".
- UNI TS 11300-2:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per l'acqua calda sanitaria".
- UNI EN 15193:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione".
- UNI EN 15217:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici".
- D.M. 26/06/2009, linee guida nazionali sulla certificazione energetica.

◆.....◆

- www.enea.it
- www.eerg.it
- www.sviluppoeconomico.gov.it
- www.terna.it
- [www.homesystemsconsulting.com/it/Consumi Energetici.html](http://www.homesystemsconsulting.com/it/Consumi_Energetici.html)
- www.centroconsumatori.it
- www.micro-solution.it
- www.assodomotica.it
- www.domotica.it
- www.pqs.it
- www.ailux.org
- www.linarisrl.com
- www.HW-group.com
- www.egluetechologies.com
- www.ge.com/visualization/appliances_energyuse/index.html
- www.energia360.it
- www.mygreenbuildings.org/2010/08/26/risparmiare-energia-elettrica-calcolo-consumi-energetici-elettrodomestici.html
- <http://www.autorita.energia.it/it/d2d3.htm>

Indice delle figure

Figura 1.1 – Evoluzione del fabbisogno energetico pro-capite.	3
Figura 1.2 – Classificazione delle possibili soluzioni finalizzate alla riduzione di emissioni di CO ₂ , scenario per il 2020 (Fonte: ENEA).	4
Figura 1.3 – Distribuzione dell’energia primaria utilizzata in funzione del settore d’impiego, in Mtep (Fonte: ENEA, 2009).	4
Figura 1.4 – Distribuzione degli edifici per tipologia d’uso (Fonte: censimento Istat, 2001).	5
Figura 1.5 – Ripartizione dell’energia primaria richiesta in ambito civile in funzione del vettore energetico, in Mtep (Fonte: ENEA, 2009).	6
Figura 1.6 – Ripartizione dei consumi finali di energia primaria nelle abitazioni (Fonte: MSE, 2005).	7
Figura 1.7 – Schema orario di funzionamento dell’impianto di riscaldamento.	8
Figura 1.8 – Esempio di andamento delle temperature in un giorno feriale invernale.	9
Figura 1.9 – Esempio di andamento giornaliero dell’energia richiesta per il riscaldamento in caso di doppia impostazione della temperatura interna.	10
Figura 1.10 – Distribuzione in classi di consumo annuale, assoluto, del campione monitorato (Progetto MICENE, 2004).	11
Figura 1.11 – Distribuzione in classi di consumo annuale, rapportate a un metro quadrato, del campione monitorato (Progetto MICENE, 2004).	11
Figura 1.12 – Consumo orario medio nazionale (Progetto MICENE, 2004).	12
Figura 1.13 – Consumi finali di energia elettrica nelle abitazioni (Progetto MICENE, 2004).	12
Figura 1.14 – Ripartizione dei consumi di energia primaria nel settore terziario pubblico (Fonte: ENEA, 2009).	14
Figura 1.15 – Livello di occupazione medio degli uffici nei giorni feriali rispetto ad un affollamento standard di 12 m ² /persona (Fonte: ENEA, 2009).	15
Figura 1.16 – Indici di consumo elettrico per zona climatica (Fonte: ENEA, 2009).	17
Figura 2.1 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di un’abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	20
Figura 2.2 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di un’abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	21
Figura 2.3 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di un’abitazione in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	21
Figura 2.4 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno feriale, uno prefestivo e uno festivo.	24
Figura 2.5 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno feriale, uno prefestivo e uno festivo.	24
Figura 2.6 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di una palazzina uffici: da sinistra a destra sono riportati un giorno feriale, uno prefestivo e uno festivo.	24
Figura 2.7 – Consumo elettrico giornaliero per la climatizzazione di un ufficio in un tipico giorno feriale.	26
Figura 2.8 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di una scuola in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	27
Figura 2.9 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di una scuola in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	27
Figura 2.10 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di una scuola in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	28
Figura 2.11 – Consumo elettrico medio giornaliero invernale di un’università in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	29
Figura 2.12 – Consumo elettrico medio giornaliero nelle mezze stagioni di un’università in un giorno feriale (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	29

Figura 2.13 – Consumo elettrico medio giornaliero estivo di un’università in un giorno ferialo (a sinistra) e in uno festivo (a destra).	29
Figura 2.14 – Curva di carico giornaliera media delle lavabiancheria (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	32
Figura 2.15 – Curva di carico giornaliera media delle lavastoviglie (Fonte: Progetto MICENE, 2004). ...	33
Figura 2.16 – Curva di carico giornaliera media dei frigocongelatori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	34
Figura 2.17 – Curva di carico giornaliera media dei frigoriferi (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	34
Figura 2.18 – Curva di carico giornaliera media dei congelatori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	35
Figura 2.19 – Curva di carico giornaliera media dei televisori (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	36
Figura 2.20 – Curva di carico giornaliera media dei PC (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	37
Figura 3.1 – Confronto dell’influenza dei tre parametri analizzati relativamente alle diverse destinazioni d’uso.	57
Figura 5.1 – Visione di insieme della scheda di monitoraggio in cui sono visibili a destra i due tratti del cavo di potenza e, in alto a sinistra, il cavo dati diretto al PC.	84
Figura 5.2 – Ingrandimento della scheda di monitoraggio con indicazione dei componenti principali. .	84
Figura 5.3 – Interfaccia del software di calcolo: i dati nelle due colonne sono composti dal numero progressivo del campione inviato e dal valore ad esso associato (che non è in V o A ma va convertito successivamente).	85
Figura 5.4 – Ciclo frigorifero schematico (le ventole rappresentano lo scambio termico convettivo) e spaccato di un frigorifero comune (1 = compressore, 2 = condensatore, 3 = valvola di espansione, 4 = evaporatore).	87
Figura 5.5 – Esempio di frigocongelatore del modello monitorato.	88
Figura 5.6 – Frigocongelatore: andamento globale di corrente efficace e potenza media.	89
Figura 5.7 – Frigocongelatore: andamento globale di tensione e corrente istantanee dall’avvio alle condizioni di regime.	90
Figura 5.8 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee all’avvio del compressore.	90
Figura 5.9 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee al raggiungimento della pressione di regime.	90
Figura 5.10 – Frigocongelatore: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.	91
Figura 5.11 – Foto del congelatore monitorato.	92
Figura 5.12 – Congelatore: andamento globale di tensione e corrente efficaci.	92
Figura 5.13 – Congelatore: andamento globale di tensione e corrente istantanee dall’avvio alle condizioni di regime.	93
Figura 5.14 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanee all’avvio del compressore. ...	93
Figura 5.15 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanee al raggiungimento della pressione di regime.	93
Figura 5.16 – Congelatore: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.	94
Figura 5.17 – Principio di funzionamento di un microonde.	95
Figura 5.18 – Foto del microonde monitorato ed esempio di magnetron.	95
Figura 5.19 – Microonde: andamento di potenza media e tensione efficace nella modalità “Low”.	98
Figura 5.20 – Microonde: andamento della corrente efficace nella modalità “Low”.	98
Figura 5.21 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “MLow”. ...	99
Figura 5.22 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Med”.	99
Figura 5.23 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “MHigh”. .	99
Figura 5.24 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “High”.	100
Figura 5.25 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi1”.	100
Figura 5.26 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi2”.	101
Figura 5.27 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Combi3”.	101
Figura 5.28 – Microonde: andamento di potenza media e corrente efficace nella modalità “Grill”. ...	101
Figura 5.29 – Microonde: andamento di corrente e tensione istantanei in modalità “Combi1”.	102

Figura 5.30 – Microonde: andamento di corrente e tensione efficaci in modalità “Combi1”.	102
Figura 5.31 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee all’avvio della ventola del magnetron.	103
Figura 5.32 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee della ventola a regime.	103
Figura 5.33 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee all’avvio e a regime del magnetron.	103
Figura 5.34 – Microonde: tensione, corrente e potenza istantanee tra l’arresto del magnetron e l’avvio del grill.	104
Figura 5.35 – Immagine del modello di forno elettrico monitorato.	106
Figura 5.36 – Forno elettrico: tensione, corrente e potenza efficaci nelle 5 modalità di funzionamento.	107
Figura 5.37 – Forno elettrico: tensione e corrente istantanee all’avvio della modalità “forno tradizionale” (andamento uguale alla modalità “multicottura”).	107
Figura 5.38 – Forno elettrico: tensione, corrente e potenza istantanee durante il passaggio dalla modalità “forno sopra” alla modalità “grill” (l’andamento di quest’ultima è uguale a quello in modalità “gratin”).	108
Figura 5.39 – Schema di funzionamento di un piano ad induzione.	109
Figura 5.40 – Immagine del modello di piano ad induzione monitorato.	111
Figura 5.41 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “9” (massima potenza) e “8”.	111
Figura 5.42 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “8” e “7.”	112
Figura 5.43 – Piano ad induzione: andamento di potenza e corrente efficaci al livello “7.”, “7” e “6”.	112
Figura 5.44 – Piano ad induzione: andamento di potenza media e corrente efficace al livello “6” e “4.”	112
Figura 5.45 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee al livello 9.	113
Figura 5.46 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace nei primi 5 minuti.	113
Figura 5.47 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 5 a 10 minuti.	113
Figura 5.48 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 10 a 15 minuti.	114
Figura 5.49 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 15 a 20 minuti.	114
Figura 5.50 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace da 20 a 25 minuti.	114
Figura 5.51 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza media e corrente efficace tra fine cottura pasta ed inizio cottura carne.	115
Figura 5.52 – Piano ad induzione, cottura comune: andamento di potenza e corrente efficaci tra fine cottura carne e mantenimento in caldo della stessa.	115
Figura 5.53 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee all’accensione.	115
Figura 5.54 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee poco tempo dopo l’accensione.	116
Figura 5.55 – Piano ad induzione: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.	116
Figura 5.56 – Foto della lavabiancheria monitorata.	117
Figura 5.57 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci nei primi 5 minuti.	118
Figura 5.58 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 5° e il 10° minuto.	118
Figura 5.59 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 10° e il 15° minuto.	119
Figura 5.60 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 15° e il 20° minuto.	119
Figura 5.61 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 20° e il 25° minuto.	119

Figura 5.62 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 25° e il 30° minuto.	120
Figura 5.63 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 30° e il 35° minuto.	120
Figura 5.64 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 35° e il 40° minuto.	120
Figura 5.65 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 40° e il 45° minuto.	121
Figura 5.66 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 45° e il 50° minuto.	121
Figura 5.67 – Lavabiancheria: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 50° e il 55° minuto (fine ciclo).	121
Figura 5.68 – Lavabiancheria: ingrandimento di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase di avvio (attivazione delle elettrovalvole di mandata dell’acqua).	122
Figura 5.69 – Lavabiancheria: ingrandimento di tensione e corrente istantanee nel momento di attivazione delle elettrovalvole di mandata dell’acqua.	122
Figura 5.70 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase di bilanciamento (prima serie di rotazioni del cestello) e inizio lavaggio (dalla seconda serie in avanti).	123
Figura 5.71 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci in fase lavaggio.	123
Figura 5.72 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all’avvio del cestello.	123
Figura 5.73 – Lavabiancheria: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all’avvio della pompa di scarico dell’acqua.	124
Figura 5.74 – Lavabiancheria: dettaglio di tensione, potenza e corrente istantanei all’avvio della pompa di scarico dell’acqua.	124
Figura 5.75 – Lavabiancheria: potenza media e tensione e corrente efficaci durante il primo ciclo di centrifuga.	125
Figura 5.76 – Lavabiancheria: dettagli di potenza media e tensione e corrente efficaci alla prima e alla penultima rotazione del primo ciclo di centrifuga.	125
Figura 5.77 – Lavabiancheria: dettagli di tensione e corrente istantanee all’inizio della prima (a sinistra) e della penultima (a destra) rotazione del primo ciclo di centrifuga.	126
Figura 5.78 – Immagine del modello di ferro da stiro monitorato.	127
Figura 5.79 – Ferro da stiro: potenza media e tensione e corrente efficaci durante i primi 5 minuti di funzionamento.	128
Figura 5.80 – Ferro da stiro: tensione e corrente istantanee durante i primi 5 minuti di funzionamento.	128
Figura 5.81 – Immagine del modello di lavastoviglie monitorato.	130
Figura 5.82 – Lavastoviglie: andamento di tensione, potenza e corrente efficaci nei primi 5 minuti.	132
Figura 5.83 – Lavastoviglie: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all’avvio della pompa maggiore.	132
Figura 5.84 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all’avvio della pompa maggiore.	132
Figura 5.85 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all’avvio della pompa minore.	133
Figura 5.86 – Lavastoviglie: dettaglio di tensione e corrente istantanei all’avvio della resistenza scaldante.	133
Figura 5.87 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 5° e il 10° minuto.	133
Figura 5.88 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 10° e il 15° minuto.	134
Figura 5.89 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 15° e il 20° minuto.	134

Figura 5.90 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 20° e il 25° minuto.	134
Figura 5.91 – Lavastoviglie: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci tra il 25° e il 25° minuto (fine ciclo).	135
Figura 5.92 – Asciugatrice: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci nei primi 5 minuti.	137
Figura 5.93 – Asciugatrice: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci negli ultimi 5 minuti.	137
Figura 5.94 – Asciugatrice: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci all'avvio.....	138
Figura 5.95 – Asciugatrice: dettaglio di potenza media e tensione e corrente efficaci alla fine della prima asciugatura.	138
Figura 5.96 – Asciugatrice: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio.....	138
Figura 5.97 – Asciugatrice: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio della resistenza termica.....	139
Figura 5.98 – Schema di funzionamento di un tubo a raggi catodici.	140
Figura 5.99 – Immagine del modello di televisore monitorato.	141
Figura 5.100 – TV: andamento globale di potenza media e tensione e corrente efficaci.	142
Figura 5.101 – TV: andamento globale di tensione e corrente istantanei.	142
Figura 5.102 – TV: andamento di tensione e corrente istantanei in modalità standby.	143
Figura 5.103 – TV: andamento di tensione, potenza e corrente istantanei all'avvio.	143
Figura 5.104 – TV: andamento di tensione e corrente istantanei a regime.	143
Figura 5.105 – Schema elettrico di un ponte a diodi (ponte di Graetz) con condensatore stabilizzante.	144
Figura 5.106 – Immagine del modello di notebook monitorato.....	146
Figura 5.107 – Notebook: andamento globale di potenza media e tensione e corrente efficaci.	147
Figura 5.108 – Notebook: andamento di tensione, potenza e corrente istantanee all'avvio.	147
Figura 5.109 – Foto del phon monitorato.....	148
Figura 5.110 – Phon: andamento di potenza media e corrente efficaci alla temperatura 1 e alla velocità 1.	149
Figura 5.111 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 1 e alla velocità 1.	149
Figura 5.112 – Phon: andamento di potenza media e corrente efficace alla temperatura 1 e alla velocità 2.	149
Figura 5.113 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 1 e alla velocità 2.	149
Figura 5.114 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 2 e alla velocità 1.	150
Figura 5.115 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 2 e alla velocità 1.	150
Figura 5.116 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 2 e alla velocità 2.	150
Figura 5.117 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 2 e alla velocità 2.	151
Figura 5.118 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 3 e alla velocità 1.	151
Figura 5.119 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 3 e alla velocità 1.	151
Figura 5.120 – Phon: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci alla temperatura 3 e alla velocità 2.	152
Figura 5.121 – Phon: andamento di tensione e corrente istantanee alla temperatura 3 e alla velocità 2.	152
Figura 5.122 – Immagine della stampante monitorata.	154
Figura 5.123 – Particolare dei componenti della stampante monitorata.....	155
Figura 5.124 – Stampante da ufficio: andamento di potenza media e tensione e corrente efficaci per un ciclo di stampa in B/N.....	155

Figura 5.125 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanee in fase di inizializzazione.	156
Figura 5.126 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanee in fase di inizializzazione.	156
Figura 5.127 – Stampante da ufficio: dettaglio di tensione e corrente istantanee in fase di inizializzazione.	156
Figura 5.128 – Stampante da ufficio: andamento di tensione, potenza e corrente a inizio stampa.	157
Figura 5.129 – Schema di funzionamento di una lampada ad incandescenza.	158
Figura 5.130 – Schema di funzionamento di una lampada alogena.	159
Figura 5.131 – Alcune immagini di lampade alogene (da sinistra: a due attacchi, ad un attacco, faretto completo).	159
Figura 5.132 – Lampada ad incandescenza: andamento di potenza media e corrente efficace.	161
Figura 5.133 – Lampada ad incandescenza: andamento di tensione e corrente istantanee.	161
Figura 5.134 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 15^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	162
Figura 5.135 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 30^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	162
Figura 5.136 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 45^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	162
Figura 5.137 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 60^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	163
Figura 5.138 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 75^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	163
Figura 5.139 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 90^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	163
Figura 5.140 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 105^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	163
Figura 5.141 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 120^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	164
Figura 5.142 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 135^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	164
Figura 5.143 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 150^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	164
Figura 5.144 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 165^\circ$: andamento di tensione e corrente istantanee.	164
Figura 5.145 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 15^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	165
Figura 5.146 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 30^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	165
Figura 5.147 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 45^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	165
Figura 5.148 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 60^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	166
Figura 5.149 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 75^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	166
Figura 5.150 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 90^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	166
Figura 5.151 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 105^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	166
Figura 5.152 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 120^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	167
Figura 5.153 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 135^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	167
Figura 5.154 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 150^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	167
Figura 5.155 – Lampada ad incandescenza, $\Delta\varphi = 165^\circ$: andamento di potenza media e corrente efficace.	167
Figura 5.156 – Schemi del circuito elettrico e del funzionamento di una lampada fluorescente a tubo.	168
Figura 5.157 – Immagine del proiettore monitorato e della lampada CFL inserita.	170

Figura 5.158 – Lampada fluorescente compatta: andamento di potenza media e corrente efficace all'accensione e a regime.	170
Figura 5.159 – Lampada fluorescente compatta: andamento di tensione e corrente istantanee.	171
Figura 5.160 – Immagine di una lampada fluorescente tubolare comune.	171
Figura 5.161 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di potenza media e corrente efficace. ...	172
Figura 5.162 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee all'avvio (prima scarica).	172
Figura 5.163 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee alla seconda scarica.	172
Figura 5.164 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee alla terza scarica (accensione).	173
Figura 5.165 – Lampada fluorescente tubolare: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.	173
Figura 5.166 – Alcune immagini di lampade a LED e schema sintetico di realizzazione.	174
Figura 5.167 – Lampada a LED: andamento di potenza media e corrente efficace.	175
Figura 5.168 – Lampada a LED: andamento di tensione e corrente istantanee all'accensione.	176
Figura 5.169 – Lampada a LED: andamento di tensione e corrente istantanee a regime.	176
Figura 6.1 – Frigocongelatore: profilo di carico per i primi 20 s.	178
Figura 6.2 – Congelatore: profilo di carico per i primi 20 s.	178
Figura 6.3 – Forno elettrico: profilo di carico per i primi 15 minuti.	179
Figura 6.4 – Forno elettrico: profilo di carico da 15 a 30 minuti.	179
Figura 6.5 – Forno elettrico: profilo di carico da 30 a 45 minuti.	179
Figura 6.6 – Forno elettrico: profilo di carico da 45 a 60 minuti.	180
Figura 6.7 – Forno elettrico: profilo di carico da 60 a 75 minuti.	180
Figura 6.8 – Forno elettrico: profilo di carico da 75 a 90 minuti.	180
Figura 6.9 – Forno a microonde: profilo di carico per i primi 30 s (modalità "High").	180
Figura 6.10 – Piano ad induzione: profilo di carico per i primi 10 minuti di cottura per un pasto comune.	181
Figura 6.11 – Piano ad induzione: profilo di carico da 10 a 20 minuti di cottura per un pasto comune.	181
Figura 6.12 – Piano ad induzione: profilo di carico da 20 a 25 minuti di cottura per un pasto comune.	181
Figura 6.13 – Ferro da stiro: profilo di carico per i primi 5 minuti.	181
Figura 6.14 – Lavabiancheria: profilo di carico per i primi 15 min.	183
Figura 6.15 – Lavabiancheria: profilo di carico da 15 a 30 min.	183
Figura 6.16 – Lavabiancheria: profilo di carico da 30 a 45 min.	183
Figura 6.17 – Lavabiancheria: profilo di carico da 45 min a fine ciclo.	183
Figura 6.18 – Asciugatrice: profilo di carico per i primi 15 min.	184
Figura 6.19 – Asciugatrice: profilo di carico da 15 a 30 min.	184
Figura 6.20 – Asciugatrice: profilo di carico da 30 a 45 min.	184
Figura 6.21 – Asciugatrice: profilo di carico da 45 min a fine ciclo.	184
Figura 6.22 – Lavastoviglie: profilo di carico da inizio ciclo a 15 min.	185
Figura 6.23 – Lavastoviglie: profilo di carico da 15 min a fine ciclo.	185
Figura 6.24 – Televisore: profilo di carico dall'avvio e per qualche secondo.	185
Figura 6.25 – Notebook: profilo di carico dall'avvio e per qualche minuto.	186
Figura 6.26 – Phon: profilo di carico dall'avvio e per qualche secondo.	186
Figura 6.27 – Andamento delle priorità per ogni carico, in funzione del tempo progressivo di funzionamento (alcuni tratti orizzontali con più utenze sovrapposte sono stati leggermente sfalsati per poter essere leggibili).	191
Figura A.1 – Esempio di vecchio attestato di certificazione energetica secondo la Regione Lombardia.	222
Figura A.2 – Esempio di nuovo attestato di certificazione energetica secondo la Regione Lombardia, comprendente anche il fabbisogno termico per la climatizzazione estiva.	223
Figura A.3 – Esempio di Certificato Energetico secondo la UNI EN 15217.	234
Figura A.4 – Stralci di certificato energetico redatto in fase di progetto secondo il D.M. 26/06/2009.	236

Indice delle tabelle

Tabella 1.1 Consumi attuali di energia primaria nel settore terziario pubblico, in kWh/m ³ anno, escludendo gli apparati da ufficio (Fonte: CRESME).	14
Tabella 1.2 – Ripartizione degli assorbimenti elettrici in quota dipendente dalla superficie e quota dipendente dal numero di addetti.	17
Tabella 2.1 – Caratteristiche di una lavabiancheria media utilizzata in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	32
Tabella 2.2 – Caratteristiche di una lavastoviglie media utilizzata in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	32
Tabella 2.3 – Caratteristiche di un frigorifero medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	33
Tabella 2.4 – Caratteristiche di un frigorifero medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	34
Tabella 2.5 – Caratteristiche di un congelatore verticale medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	34
Tabella 2.6 – Caratteristiche di un congelatore orizzontale medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	35
Tabella 2.7 – Caratteristiche di un complesso audiovisivo medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	35
Tabella 2.8 – Caratteristiche di un televisore medio utilizzato in Europa (Fonte: Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, Proceedings of the 4TH International Conference Eedal '06).	36
Tabella 2.9 – Caratteristiche dei televisori utilizzati in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	36
Tabella 2.10 – Caratteristiche di un PC medio utilizzato in Italia (Fonte: Progetto MICENE, 2004).	37
Tabella 3.1 – Dati relativi alla zona geografica, comune a tutti gli esempi.	39
Tabella 3.2 – Dati relativi agli impianti di riscaldamento, climatizzazione estiva e ai rendimenti dei vettori energetici (per il riscaldamento e l'ACS i rendimenti sono ricavati dalla UNI TS 11300-2:2008).	40
Tabella 3.3 – Dati relativi all'utilizzo dell'acqua calda sanitaria per le residenze.	40
Tabella 3.4 – Dati relativi all'utilizzo dell'acqua calda sanitaria per gli uffici.	40
Tabella 3.5 – Caso 1: trasmittanze degli elementi di chiusura.	41
Tabella 3.6 – Caso 1: dati relativi alla geometria dell'edificio.	41
Tabella 3.7 – Caso 1: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).	42
Tabella 3.8 – Caso 1: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.	42
Tabella 3.9 – Caso 1: riepilogo risultati finali.	43
Tabella 3.10 – Caso 2: trasmittanze degli elementi di chiusura.	44
Tabella 3.11 – Caso 2: dati relativi alla geometria dell'edificio.	44
Tabella 3.12 – Caso 2: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).	45
Tabella 3.13 – Caso 2: informazioni riguardanti l'occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.	45
Tabella 3.14 – Caso 2: riepilogo risultati finali.	46
Tabella 3.15 – Caso 3: trasmittanze degli elementi di chiusura.	47
Tabella 3.16 – Caso 3: dati relativi alla geometria dell'edificio.	47
Tabella 3.17 – Caso 3: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).	47

Tabella 3.18 – Caso 3: informazioni riguardanti l’occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.....	48
Tabella 3.19 – Riepilogo risultati finali.....	48
Tabella 3.20 – Caso 4: trasmissioni degli elementi di chiusura.	49
Tabella 3.21 – Caso 4: dati relativi alla geometria dell’edificio.	50
Tabella 3.22 – Caso 4: distribuzione delle superfici disperdenti (su fondo grigio i dati utilizzati per i calcoli dal software DoCEt).....	50
Tabella 3.23 – Caso 4: informazioni riguardanti l’occupazione e le apparecchiature elettriche più significative.....	50
Tabella 3.24 – Riepilogo risultati finali.....	51
Tabella 3.25 – Caso 1: effetti della riduzione delle trasmissioni termiche di ogni elemento tecnico. ...	53
Tabella 3.26 – Caso 1: effetti della riduzione del consumo per l’illuminazione.	53
Tabella 3.27 – Caso 1: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall’illuminazione.	53
Tabella 3.28 – Caso 2: effetti della riduzione delle trasmissioni termiche di ogni elemento tecnico. ...	54
Tabella 3.29 – Caso 2: effetti della riduzione del consumo per l’illuminazione.	54
Tabella 3.30 – Caso 2: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall’illuminazione.	54
Tabella 3.31 – Caso 3: effetti della riduzione delle trasmissioni termiche di ogni elemento tecnico (le colonne barrate corrispondono a prestazioni non realmente ottenibili).....	55
Tabella 3.32 – Caso 3: effetti della riduzione del consumo per l’illuminazione.	55
Tabella 3.33 – Caso 3: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall’illuminazione.	55
Tabella 3.34 – Caso 4: effetti della riduzione delle trasmissioni termiche di ogni elemento tecnico. ...	56
Tabella 3.35 – Caso 4: effetti della riduzione del consumo per l’illuminazione.	56
Tabella 3.36 – Caso 4: effetti della riduzione del consumo per gli usi elettrici diversi dall’illuminazione.	56
Tabella 5.1 – Specifiche tecniche frigocongelatore.	88
Tabella 5.2 – Tabella riassuntiva del consumo del frigocongelatore (in un tipico giorno di mezza stagione).....	91
Tabella 5.3 – Specifiche tecniche congelatore.....	92
Tabella 5.4 – Tabella riassuntiva del consumo del congelatore (in un tipico giorno di mezza stagione).....	94
Tabella 5.5 – Specifiche tecniche forno a microonde.....	96
Tabella 5.6 – Tabella riassuntiva del consumo del forno a microonde nelle varie modalità.....	105
Tabella 5.7 – Specifiche tecniche forno elettrico.	106
Tabella 5.8 – Tabella riassuntiva del consumo del forno elettrico nelle varie modalità.	108
Tabella 5.9 – Specifiche tecniche piano ad induzione.	110
Tabella 5.10 – Percentuale di potenza indicative dei vari livelli di utilizzo.	110
Tabella 5.11 – Specifiche tecniche lavabiancheria.	116
Tabella 5.12 – Tabella riassuntiva del consumo della lavabiancheria nelle varie fasi.	126
Tabella 5.13 – Specifiche tecniche ferro da stiro.....	127
Tabella 5.14 – Tabella riassuntiva del consumo del ferro da stiro.	128
Tabella 5.15 – Specifiche tecniche Lavastoviglie.	131
Tabella 5.16 – Descrizione programmi di lavaggio (su fondo grigio il ciclo monitorato).....	131
Tabella 5.17 – Tabella riassuntiva del consumo della lavastoviglie nelle varie fasi.	135
Tabella 5.18 – Specifiche tecniche asciugatrice.....	136
Tabella 5.19 – Tabella riassuntiva del consumo dell’asciugatrice nelle varie fasi.	139
Tabella 5.20 – Specifiche tecniche TV-color.	141
Tabella 5.21 – Tabella riassuntiva del consumo del televisore.....	144
Tabella 5.22 – Specifiche tecniche notebook.	145
Tabella 5.23 – Tabella riassuntiva del consumo del televisore.....	147
Tabella 5.24 – Specifiche tecniche phon.	148
Tabella 5.25 – Tabella riassuntiva del consumo del phon.	153
Tabella 5.26 – Specifiche tecniche stampante da ufficio.....	154

Tabella 5.27 – Tabella riassuntiva del consumo della stampante da ufficio.	157
Tabella 5.28 – Caratteristiche principali delle lampade ad incandescenza.	158
Tabella 5.29 – Caratteristiche principali delle lampade alogene.	159
Tabella 5.30 – Tabella riassuntiva del consumo di una lampada a filamento da 60 W dimmerata.	168
Tabella 5.31 – Caratteristiche principali delle lampade fluorescenti.	169
Tabella 5.32 – Caratteristiche tecniche della lampada fluorescente compatta.	169
Tabella 5.33 – Caratteristiche tecniche della lampada fluorescente tubolare.	171
Tabella 6.1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche di continuità di carico dei vari elettrodomestici.	187
Tabella 6.2 – Elenco degli elettrodomestici in ordine di priorità di servizio a partire dal più importante.	187
Tabella 6.3 – Priorità e potenza media di ogni elettrodomestico in funzione del tempo di funzionamento.	190
Tabella 6.4 – Potenze medie degli elettrodomestici.	195
Tabella 6.5 – Ipotesi di distribuzione giornaliera e settimanale dei carichi elettrici domestici.	196
Tabella 6.6 – Martedì: rappresentazione schematica dei consumi singoli e complessivi.	197
Tabella 6.7 – Domenica: rappresentazione schematica dei consumi singoli e complessivi.	203
Tabella 6.8 – Martedì: situazione dopo il primo intervento alle ore 7 (ritardo avvio microonde e distacco prese generiche).	209
Tabella 6.9 – Martedì: situazione dopo il primo intervento alle ore 21 e alle ore 21:05 (ritardo avvio asciugatrice e distacco prese generiche).	210
Tabella 6.10 – Martedì: situazione dopo il secondo intervento alle ore 21:05 (ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese generiche).	211
Tabella 6.11 – Martedì: situazione finale dopo il terzo intervento alle ore 21:15 (ritardo avvio asciugatrice).	212
Tabella 6.12 – Domenica: situazione dopo il primo intervento alle ore 15:30 (distacco prese generiche).	212
Tabella 6.13 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 20:35 (distacco prese generiche).	212
Tabella 6.14 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 21:00 (distacco prese generiche, ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese).	213
Tabella 6.15 – Domenica: situazione dopo il terzo intervento alle ore 21:00 (distacco prese generiche, ritardo avvio asciugatrice e ripristino prese).	214
Tabella A.1 – Classificazione energetica secondo la Regione Lombardia.	233
Tabella A.2 – Classificazione energetica globale secondo la UNI EN 15217.	234
Tabella A.3 – Classificazione qualitativa dell’involucro per la climatizzazione estiva, secondo il D.M. 26/06/2009.	235
Tabella A.4 – Classificazione energetica globale secondo il D.M. 26/06/2009.	235
Tabella A.5 – Valori limite dell’indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, secondo il D.Lg. 311/2006, applicabili dal 1 gennaio 2010.	236