

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Elettrica**

Tesi Di Laurea Magistrale

***Modelli per l'analisi di consumi elettrici***



**Relatori**

*Prof. Michele Pastorelli*

*Prof.ssa Guglielmina Mutani*

**Candidato**

*Marco Orlando*

A.A. 2016/2017



## **Abstract**

In questa tesi vengono analizzati i consumi elettrici di un campione di utenze domestiche sparse sul territorio italiano; l'obiettivo principale è di creare dei modelli matematici, attraverso l'utilizzo della regressione lineare multipla, che possano simulare gli andamenti dei consumi elettrici in funzione di tre fattori, due climatici, temperatura esterna media e irraggiamento solare medio ed un terzo che riguarda il numero di componenti presenti nel nucleo familiare. Alcuni dei benefici legati alla modellizzazione dei consumi elettrici analizzati sono: costruzione degli andamenti stagionali passati e di conseguenza di quelli futuri, riduzione dei consumi totali, bilanciamento previsionale di reti elettriche, espansione a scala urbana del modello e dynamic pricing.

Dopo una parte introduttiva sulla situazione energetica Italiana, lo smart metering con il progetto Energy@Home e le tecnologie possibili per lo sviluppo futuro (prendendo come esempio il caso Tim), ci si è soffermati sulla metodologia seguita. L'idea è stata quella di utilizzare la regressione lineare multipla in modo da poter correlare i consumi elettrici totali con la variazione dei due parametri climatici, temperatura esterna media ed irraggiamento solare medio ed un terzo parametro, cioè il numero di componenti del nucleo familiare. Grazie a ciò sono stati creati i modelli in funzione dei gruppi di utenti analizzati, aventi come principali fattori di consumo elettrico, le due quote climatiche e la quota sociale.

I risultati evidenziano come il modello abbia in effetti valenza statistica, così come le variabili che si è deciso considerare e non vi è presenza di multicollinearità tra esse, seppur gli errori che si riscontrano siano molto elevati.

Si è dunque applicato il modello utilizzato nel comune di Villar Dora (To) ad un gruppo di utenze (circa 2000) situate nella zona Torino Sud. Quello che si è ottenuto, considerando i consumi medi giornalieri, è un modello che simula in maniera soddisfacente i consumi rilevati con errori accettabili.



## Sommario

Abstract.....	3
Sommario .....	5
Indice delle Figure .....	8
Indice delle Tabelle .....	9
Indice dei Grafici.....	11
Introduzione.....	13
1. Situazione attuale e consumi elettrici nazionali.....	17
1.1 Statistiche produzione energia elettrica OECD.....	17
1.2 Statistiche produzione energia elettrica in Italia .....	18
1.3 Obiettivi SEN 2017, coerenti con il piano dell'Unione dell'Energia .....	23
2. Energia elettrica, legislazione e consumi delle apparecchiature di un edificio .....	25
2.1 Etichetta energetica.....	25
2.1.1 Definizione.....	25
2.2 Storia.....	26
2.3 Analisi residenziale.....	28
2.3.1 Lavatrice .....	29
2.3.2 Lavastoviglie.....	31
2.3.3 Frigoriferi e congelatori.....	33
2.3.4 Televisore .....	35
2.3.5 Forno elettrico .....	36
2.3.6 Personal computer .....	38
2.3.7 Condizionamento (Climatizzatori) .....	39
2.3.8 Illuminazione .....	40
2.4 Suddivisione consumi residenziali.....	43
2.5 Costo dell'energia elettrica .....	44
3. Progetto Energy@Home .....	47

3.1 Lo smart metering.....	47
3.2 I benefici dello smart metering.....	47
3.3 Stato dell'arte dello smart metering in Europa e in Italia .....	49
3.4 Associazione.....	49
3.5 Obiettivi del progetto Energy@Home .....	51
3.6 Dynamic pricing and smart metering in Europa .....	52
3.7 Analisi delle potenziali barriere per il dynamic pricing .....	53
4. Smart Metering, linee guida e delibere AEEGSI.....	56
4.1 Analisi e tecnologie di comunicazione dei dati nei sistemi di smart metering.....	56
4.2 La decisione dell'AEEGSI dell'8 marzo 2016.....	57
4.3 Le filiere dell'energia elettrica .....	59
4.4 Gli stakeholders, il punto di vista di Tim.....	61
5. Obiettivi del modello .....	62
5.1 Regressione lineare semplice .....	62
5.2 Analisi di regressione .....	63
5.3 Regressione lineare multipla .....	65
5.4 Analisi di regressione .....	67
5.5 Verifica multicollinearità .....	68
5.6 Regressione lineare multipla a variabili standardizzate .....	69
5.7 Test statistici di verifica .....	71
5.8 Test statistico F.....	71
5.9 Test statistico t.....	72
5.10 Analisi delle 3 quote di consumo .....	72
6. Dati disponibili. ....	74
6.1 Dati utenze.....	74
6.2 Selezione degli utenti.....	78
6.3 Apparecchiature considerate.....	81

6.3.1 Energia consumata.....	82
Individuazione dell'errore .....	82
Correzione ordine di grandezza.....	82
6.4 Interpolazione lineare.....	83
6.4.1 Temperatura.....	83
6.4.2 Irraggiamento solare .....	84
6.5 Cicli di carico.....	87
6.6 Modello.....	90
6.7 Risultati della regressione lineare multipla.....	94
6.7.1 Modello di regressione lineare .....	95
7. Analisi dei risultati ottenuti. ....	98
7.1 Andamento dei consumi.....	98
7.1.1 Villar Dora.....	99
7.1.2 Caluso.....	102
7.1.3 Castelplanio.....	104
7.1.4 Olgiate Olona .....	106
7.1.5 Civitanova Marche .....	108
7.1.6 Peschiera Borromeo .....	110
7.1.7 Pordenone .....	113
7.2 Progetto Empowering .....	115
7.2.1 Panoramica dati utilizzati .....	115
7.2.2 Consumi elettrici medi.....	115
Conclusioni.....	119
Bibliografia.....	122
Appendice A.....	124
Ringraziamenti.....	131

## Indice delle Figure

Figura 1. Esempio etichetta energetica .....	27
Figura 2. Vendite di lavatrici per classi energetiche in percentuale.....	30
Figura 3. Curve di carico media giornaliera di una lavatrice .....	31
Figura 4. Vendite di lavastoviglie per classi energetiche in percentuale .....	32
Figura 5. Curva di carico media giornaliera di una lavastoviglie .....	33
Figura 6. Vendite frigocongelatori per classi energetiche in percentuali .....	34
Figura 7. Curva di carico media giornaliera di un frigocongelatore.....	35
Figura 8. Curva di carico media giornaliera di un televisore .....	36
Figura 9. Vendite forni elettrici per classi energetiche in percentuale .....	37
Figura 10. Logo Energy Start .....	38
Figura 11. Curva di carico media giornaliera di un PC.....	39
Figura 12. Illuminazione nelle diverse stanze.....	40
Figura 13. Illuminazione , curva di carico giornaliera media.....	41
Figura 14. Illuminazione nel periodo invernale, curva di carico giornaliera media.....	42
Figura 15. Illuminazione nel periodo invernale, curve di carico giornaliera media.....	42
Figura 16. Suddivisione dei consumi elettrici residenziali nell'UE-27, 2009.....	43
Figura 17. Suddivisione del costo dell'energia elettrica.....	45
Figura 18. Spesa netta associata ai servizi di rete ed oneri generali di sistema .....	46
Figura 19. Dispositivo di smart metering.....	48
Figura 20. Contatori tradizionali .....	49
Figura 21. Sistemi di comunicazione device e service provider .....	50
Figura 22. Soluzioni wired e wireless .....	58
Figura 23. Piano di regressione per un modello a tre variabili.....	66
Figura 24. Rappresentazione dei residui.....	66
Figura 25. Rappresentazione regioni di rifiuto test d'ipotesi .....	71
Figura 26. Zone climatiche utenze .....	81
Figura 27. Irraggiamento solare in Europa.....	85
Figura 28. Irraggiamento solare in Italia .....	86

## Indice delle Tabelle

Tabella 1. Contributo delle fonti energetiche sulle fonti di energia .....	18
Tabella 2. Contributo delle fonti energetiche sulla produzine di energia per l'Italia.....	19
Tabella 3. Caratteristiche energetiche in Italia rapportate alla popolazione e GDP .....	21
Tabella 4. Quote di produzione di energia elettrica in Italia.....	22
Tabella 5. Strategia energetica nazionale .....	23
Tabella 6. Calendario obblighi etichettatura energetica elettrodomestici.....	27
Tabella 7. Classi energetiche lavatrici con 6 kg di carico e 9 kg .....	29
Tabella 8. Classi energetiche lavastoviglie standard da 12 coperti .....	32
Tabella 9. Classi energetiche tipivco fricongelatore.....	34
Tabella 10. Calssi energetiche tipico televisore da 40'' .....	36
Tabella 11. Classi energetiche forni elettrici di volumi 12-35litri e volumi 35-60 litri .....	37
Tabella 12. Classi energetiche condizionatori split da 2,7 [kW] .....	40
Tabella 13. Voci di costo complessivo di energia elettrica.....	44
Tabella 14. Obiettivi europei di sostituzione dei nuovi contatori per il 2020.....	52
Tabella 15. Consumi residenziali sul totale .....	53
Tabella 16. Le fasi della filiera del mercato dell'elettricit� .....	59
Tabella 17. Caratteristiche utenti.....	75
Tabella 18. Zone climatiche utenze .....	77
Tabella 19. Misure dei consumi fornite per ogni utente .....	79
Tabella 20. Caratteristiche utenti utili per i modelli.....	80
Tabella 21. Dati metereologici comune Villar Dora.....	84
Tabella 22. Irraggiamento solare medio .....	86
Tabella 23. Giorni festivi e feriali.....	87
Tabella 24. Grandezze significative delle utenze considerate.....	89
Tabella 25. Verifica test F e test t per l'utente 6 .....	101
Tabella 26. Verifica test F e test t per l'utente 126.....	103
Tabella 27. Verifica test F e test t per l'utente 103.....	105
Tabella 28. Verifica test F e test t per l'utente 102.....	107
Tabella 29. Verifica test F e test t per l'utente 137 .....	110
Tabella 30. Verifica test F e test t per l'utente 152 .....	112
Tabella 31. Verifica test F e test t per l'utente 42 .....	114
Tabella 32. Consumi medi mensili anno 2013 per gli utenti TEST+EXP+CTRL.....	116

Tabella 33. Consumi medi mensili anno 2014 per gli utenti TEST+EXP+CTRL.....	116
Tabella 34. Consumi medi giornalieri anno 2013 per gli utenti TEST+EXP+CTRL.....	116
Tabella 35. Consumi medi giornalieri 2014 per gli utenti TEST+EXP+CTRL.....	116

## Indice dei Grafici

Grafico 1. Produzione di energia elettrica per fonte, confronto 2016-2017 .....	18
Grafico 2. Popolazione, reddito e consumi energetici in Italia .....	20
Grafico 3. Consumi elettrici pro capite.....	54
Grafico 4. Ripartizione per i consumi per il termico nei vari paesi.....	55
Grafico 5. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 6 .....	99
Grafico 6. Andamento 12 Gennaio 2015-27 Dicembre 2015, utente 6 .....	100
Grafico 7. Andamento 10 Agosto 2015 – 23 Agosto 2015, utente 6 .....	100
Grafico 8. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 126.....	102
Grafico 9. Andamento 15 Giugno 2015 – 10Luglio 2016, utente 126.....	102
Grafico 10. Andamento 10 Agosto 2015 – 23 Agosto 2015, utente 126.....	103
Grafico 11. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 103.....	104
Grafico 12. Andamento 8 Dicembre 2014 – 24 Gennaio 2016, utente 103.....	104
Grafico 13. Andamento 10 Agosto 2015 – 23 Agosto 2015, utente 103.....	105
Grafico 14. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 102.....	106
Grafico 15. Andamento 8 Giugno 2015 – 5 Giugno 2016, utente 102 .....	106
Grafico 16. Andamento 10 Agosto 2015 – 23 Agosto 2015, utente 102 .....	107
Grafico 17. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 137.....	108
Grafico 18. Andamento 26 Ottobre 2015 – 19 Settembre 2016, utente 137 .....	109
Grafico 19. Andamento 15 Agosto 2016 – 28 Agosto 2016, utente 137 .....	109
Grafico20. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 152.....	110
Grafico 21. Andamento 2 Novembre 2015 – 28 Agosto 2016, utente 152.....	111
Grafico 22. Andamento 15 Agosto 2016 – 28 Agosto 2016, utente 152.....	111
Grafico 23. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello, utente 42.....	113
Grafico 24. Andamento 26 Ottobre 2015 – 19 Giugno 2016, utente 42 .....	113
Grafico 25. Andamento Medio mensile dei consumi misurati e del modello anno 2013 .....	117
Grafico 26. Andamento Medio mensile dei consumi misurati e del modello anno 2014.....	117



## **Introduzione**

Scopo del lavoro presentato in questa Tesi di laurea è quello di analizzare e valutare i consumi elettrici di un campione di utenze residenziali sparse sul territorio italiano e con diverse caratteristiche. La tesi prende come riferimento i dati raccolti e forniti dal progetto Energy@Home.

La continua crescita della popolazione e del livello di confort e di tecnologia che fa parte della quotidianità, ha portato ad un aumento dei consumi elettrici (a meno del calo dovuto alla crisi del 2008) che di conseguenza continueranno ad aumentare, sia a livello nazionale che mondiale. Ciò rende necessario per le aziende produttrici di energia elettrica e per quelle che si occupano della pianificazione dei profili di carico e del trasporto della stessa, avere modelli che possano prevedere i consumi e le variazioni in base a determinati fattori. Questo in un'ottica di diminuzione dei consumi e dei costi del servizio e dell'energia elettrica per l'acquisto da parte dell'utente finale.

A tale scopo si è cercato di simulare i consumi elettrici di determinate utenze in funzione di due parametri climatici e di un terzo che dipende, invece, dal numero di componenti della famiglia.

L'idea è quindi quella di sviluppare dei modelli matematici che possano riprodurre gli andamenti stagionali dei consumi energetici in funzione di due fattori climatici: temperatura esterna media e irradiazione solare media di un fattore sociale. Alcuni dei benefici legati alla modellizzazione dei consumi elettrici analizzati sono:

- Calcolo degli andamenti dei consumi passati e futuri;
- Riduzione dei consumi totali;
- Bilanciamento previsionale di reti elettriche;
- Prezzo dinamico dell'energia (energy pricing);
- Espansione di tale modello a scala urbana.

Per attuare questa modellizzazione si è proceduto all'utilizzo della regressione lineare multipla. L'uso della regressione multipla nella valutazione dei consumi energetici risale ai primi anni '80, e si è affinata nel tempo con l'introduzione di nuovi parametri, quali velocità del vento, umidità relativa, ecc. Nel nostro caso sono stati scelti solamente tre parametri (temperatura esterna, irradiazione solare e numero di componenti della famiglia), presumendo che tra le variabili climatiche queste due siano quelle di maggior influenza; così

come più persone sono presenti all'interno della stessa famiglia e maggiori saranno i dispositivi elettrici utilizzati o con maggior frequenza, cosa che andrà ad influire sul consumo finale.

Al fine di costruire i modelli matematici, si sono analizzati i dati delle misure raccolti dai dispositivi installati nelle abitazioni di determinati utenti del progetto, per il periodo di tempo relativo al 2014-2016. I dati sono stati elaborati, "scremati" e suddivisi in base alle diverse esigenze.

Per il modello sono stati utilizzati due programmi di calcolo, Excel e Matlab. Il primo si è reso necessario in quanto i dati a disposizione erano salvati sottoforma di file Excel, ma a causa della mole di dati, si è preferito passare ad un programma di calcolo che permettesse con la scrittura di un codice, di elaborare i dati più velocemente.

La struttura di questo lavoro si compone di 7 Capitoli che verranno brevemente descritti di seguito:

Nel Capitolo 1 si illustra brevemente la situazione dei consumi di energia elettrica in Italia, diversificati per usi finali e per fonti utilizzate nella produzione della stessa. Inoltre si mostrano anche gli obiettivi intrapresi dall'Italia per il Cop21 (accordi di Parigi sul clima).

Nel Capitolo 2 si presenta la situazione normativa relativa al consumo elettrico, dagli anni '70 ad oggi. Si introduce l'etichetta energetica per i consumi elettrici e si procede ad un'analisi residenziale dei principali elettrodomestici, con relativo consumo medio annuale e obblighi di efficienza energetica. Si conclude riassumendo i costi dell'energia elettrica e la diversificazione delle tariffe in vigore.

Nel Capitolo 3 si descrive il progetto Energy@Home al quale si è fatto riferimento per il presente progetto di Tesi. In primis si introduce in modo generale cos'è lo smart metering ed i benefici ad esso correlati. Successivamente si illustra lo stato dell'arte in Italia ed Europa, per concludere con gli obiettivi che si prefissa l'associazione Energy@Home ed i principali ostacoli per il raggiungimento degli stessi.

Nel capitolo 4 si introduce la normativa Italiana in materia di smart metering ed i gruppi di lavoro incentivati dall'AEEG per lo studio delle tecnologie (wired o wireless) per lo smart metering. Infine, per quanto riguarda la tecnologia wireless, si fa un breve focus sul punto di vista Tim.

Nel Capitolo 5 si presenta la metodologia utilizzata per il raggiungimento finale di creazione dei modelli. Dopo un'iniziale introduzione sulla regressione lineare multipla, si descrivono quindi i modelli sviluppati per la simulazione dei consumi energetici.

Nel Capitolo 6 vengono introdotti i dati analizzati per il consumo elettrico, i passaggi fatti dall'analisi di quest'ultimi fino alla formulazione finale e si riassumono i risultati ottenuti nella modellizzazione dei consumi elettrici.

Nel Capitolo 7 verrà fatta una rassegna, caso per caso, dei risultati ottenuti rispetto ai consumi realmente misurati e si faranno considerazioni a riguardo, criticità riscontrate e sviluppi futuri.



# 1. Situazione attuale e consumi elettrici Nazionali

---

Nel Capitolo 1 si fornisce una panoramica generale sullo stato attuale del bilancio energetico Italiano e sulle politiche di sfruttamento delle fonti energetiche.

Si inizia riportando i consumi elettrici riferiti all'anno 2016, descrivendo la loro ripartizione rispetto ai principali vettori energetici e la loro destinazione finale (usi finali o trasformazioni di energia). In seguito, si entra nello specifico degli usi finali dell'energia valutando il settore residenziale e terziario.

Attraverso il Piano Energetico Nazionale, si da inoltre una panoramica degli obiettivi dell'Italia in riferimento agli accordi di Parigi (Cop21).

## 1.1 Statistiche produzione energia elettrica OECD

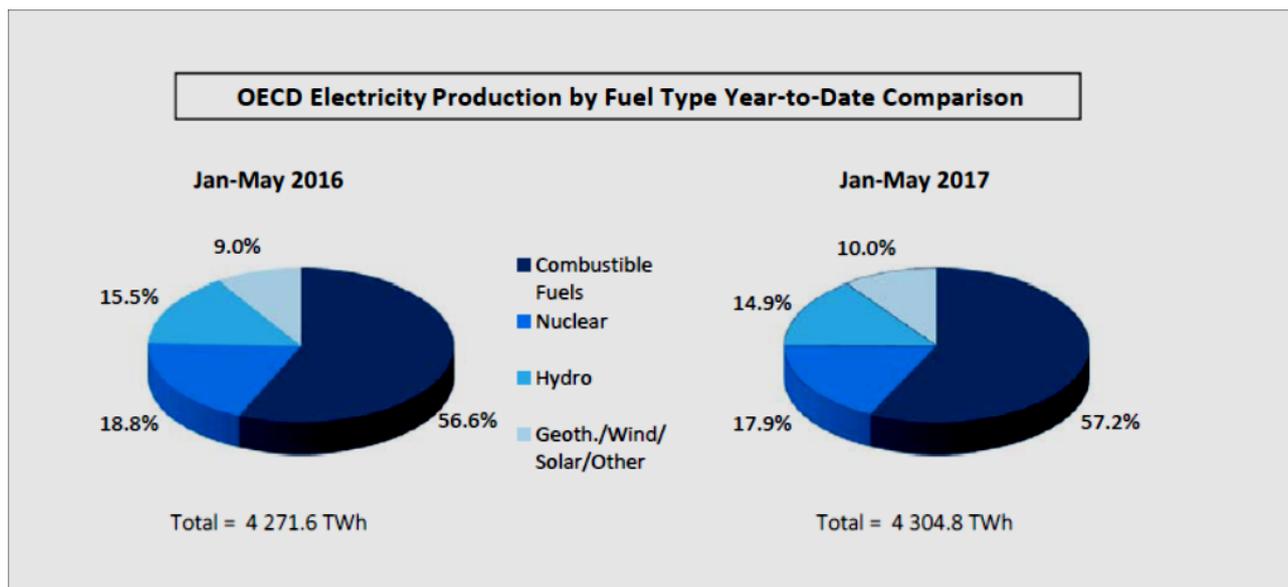
Di seguito si presenta una breve statistica sui consumi elettrici mensili (fonte IEA) dei paesi facenti parte dell' OECD (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico).

Il confronto riguarda il mese di maggio del 2017 rispetto allo stesso mese dell'anno precedente. La produzione di energia elettrica nei paesi facenti parte dell'OECD raggiunge 832,2 [TWh] a maggio del 2017, con un incremento del 2,8% ovvero 22,4 [TWh], rispetto allo stesso mese del 2016.

Si registra una crescita della produzione dei combustibili fossili pari al 2,4% rispetto all'anno precedente, ma con un incremento minore rispetto alle fonti di energia alternativa che vedono un incremento del 13,1%.

Se si intende confrontare la produzione di elettricità nei paesi dell'OECD nel periodo Gennaio-Febbraio, 2017 vs 2016, si nota come si abbia avuto un aumento di 0,8%, ovvero di 33,2 [TWh] e si raggiungano i 4 304.8 [TWh], rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente.

Grafico 1: Produzione di energia elettrica per fonte, confronto 2016-2017



La tabella seguente mostra sul totale la distribuzione delle varie fonti per la produzione di energia elettrica.

Tabella 1: contributo delle fonti energetiche sulla produzione di energia

OECD Total								
	Last 3 months			Year-to-Date			Past Year	
	May-17	Apr-17	Mar-17	Jan-May-17	change <sup>1</sup>	share <sup>2</sup>	2016	share <sup>2</sup>
+ Combustible Fuels	463.8	439.1	498.7	2 461.8	1.8%	57.2%	6 243.6	59.7%
+ Nuclear	146.8	142.9	157.9	771.5	-4.1%	17.9%	1 872.2	17.9%
+ Hydro	134.3	124.2	132.3	640.7	-3.3%	14.9%	1 457.8	13.9%
+ Geoth./Wind/Solar/Other	87.2	91.3	95.7	430.8	11.5%	10.0%	883.4	8.4%
<b>= Indigenous Production</b>	<b>832.2</b>	<b>797.5</b>	<b>884.6</b>	<b>4 304.8</b>	<b>0.8%</b>	<b>100.0%</b>	<b>10 457.0</b>	<b>100.0%</b>
+ Imports	40.5	41.2	43.8	210.7	-2.1%		487.9	
- Exports	41.0	41.3	43.8	211.2	0.3%		473.8	
<b>= Electricity Supplied</b>	<b>831.6</b>	<b>797.4</b>	<b>884.6</b>	<b>4 304.3</b>	<b>0.7%</b>		<b>10 471.2</b>	

1. Percentage change over corresponding period (beginning of year to current month) of previous year.  
2. Share of electricity production by fuel type.

## 1.2 Statistiche produzione energia elettrica in Italia

Per il discorso Italia, il ragionamento fatto è lo stesso, ovvero vengono confrontati allo stesso modo la produzione di elettricità, nel complesso e per le varie fonti, per i mesi di maggio 2016 e 2017.

**Tabella 2. Contributo delle fonti energetiche sulla produzione di energia per l'Italia**

	Ultimi 3 mesi			Anno trascorso			Anno precedente	
	Maggio 17	Aprile 17	Marzo 17	Gennaio- maggio 17	variazione	percentuale	2016	percentuale
<b>Comustibile fossile</b>	13734	13248	14174	78177	8.6%	69.5%	186246	67.8%
<b>Nucleare</b>	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
<b>Geo/vento/sole</b>	4551	4369	4801	20353	-0.4%	18.1%	46125	16.8%
<b>Produzione interna</b>	22023	20279	21561	112463	3.9%	100%	274677	100%
<b>+Import</b>	3700	3613	5155	18109	-18.5%		43181	
<b>-Export</b>	497	537	404	20624	-2.4%		6155	
<b>Elettricità fornita</b>	25226	23355	26312	127948	0.1%			311703

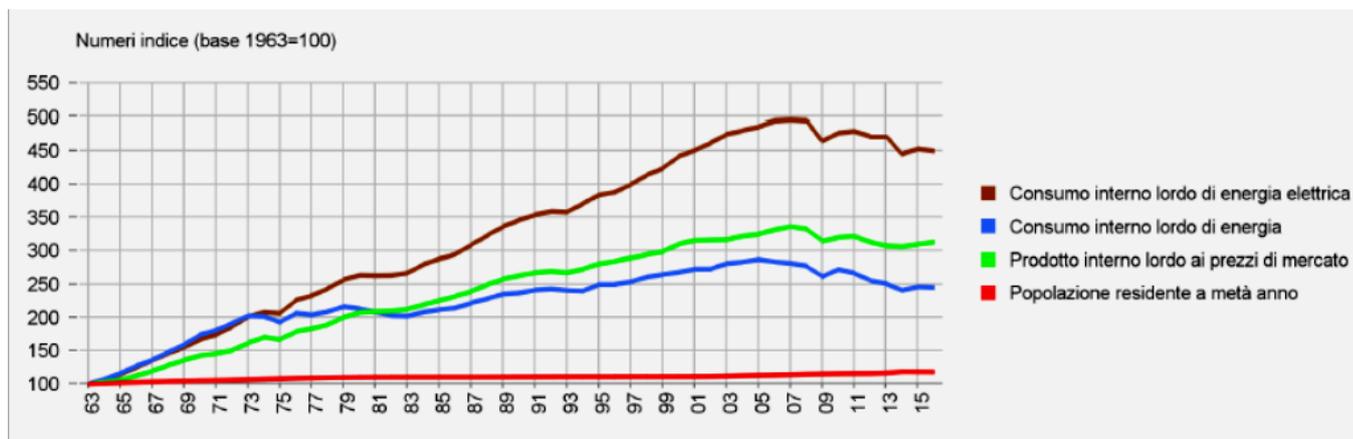
La produzione di elettricità a Maggio è stata 22023 [GWh], ovvero 149 [GWh] in più rispetto al lo stesso periodo nel 2016. Dai dati si registra un incremento del 3,7% dell'utilizzo dei combustibili fossili, ovvero 487 [GWh].

La produzione totale di energia elettrica da Aprile 2016 ad Aprile 2017 è stata 112463 [GWh] rispetto all'anno precedente, con aumento di 4181 [GWh], ovvero il 3,9%.

E' aumentata la quota riguardante i combustibili fossili, dell'8,6%, 192[GWh], mentre è da notare come sia diminuita la quota di geotermico, solare e vento, anche se di solo 88 [GWh].

Gli stessi dati storici vengono anche presi dal sito di TERNA (Rete Elettrica Nazionale), a cui si aggiunge anche la popolazione italiana, il reddito e le tonnellate equivalenti di petrolio per la produzione del fabbisogno di energia elettrica nazionale.

Grafico 2: Popolazione, reddito e consumi energetici in Italia



La tabella 3 mostra la popolazione residente in Italia a metà 2015 e 2016, fornito da Istat e quella calcolato fino al 30 giugno dell'anno considerato.

Il consumo finale di energia è dato dal consumo interno lordo di energia, diminuito del consumo del settore energetico, che include le relative variazioni delle scorte.

Il consumo interno lordo di energia è dato dalla somma dei quantitativi di fonti primarie prodotte, così di fonti primarie e secondarie importate e così della variazione delle scorte di fonti primarie e secondarie presso produttori e importatori, diminuita delle fonti primarie e secondarie esportate.

Il consumo interno lordo di energia elettrica è uguale alla produzione lorda di energia elettrica più il saldo scambi con l'estero. È definito al lordo o al netto dei pompaggi a seconda che la produzione lorda di energia elettrica sia comprensiva o meno della produzione da apporti di pompaggio.

Tabella 3. Caratteristiche energetiche in Italia rapportate alla popolazione e GDP

		2015 (1)	2016	2016/2015		
popolazione residente a metà anno	migliaia di abitanti	60.697,0	60.593,3	-0,2 %		
prodotto interno lordo ai prezzi di mercato	milioni di euro 2010 (2)	1.555.008,6	1.568.691,0	+0,9 %		
consumo finale di energia (3)	milioni di t.e.p.	160,0	160,0	+0,0 %		
energia impiegata nelle centrali elettriche (3)	% del consumo interno lordo di energia	38,0	36,9	-2,9 %		
energia impiegata nelle centrali elettriche (3)	milioni di t.e.p.	64,6	62,4	-3,4 %		
consumo interno lordo di energia elettrica (al lordo dei pompaggi)	GWh	329.372,1	326.794,6	-0,8 %		
milioni di t.e.p. e quote		2015 (1)	2016	2016/2015		
consumo interno lordo di energia (3)						
di cui:		169,8	100,0%	169,0	100,0%	-0,5 %
prodotti petroliferi		58,7	34,6%	57,8	34,2%	-1,5 %
gas naturale		55,3	32,6%	58,1	34,4%	+5,0 %
solidi		13,1	7,7%	11,8	7,0%	-9,8 %
rinnovabili		32,6	19,2%	33,2	19,6%	+1,9 %
elettricità primaria (saldo estero)		10,2	6,0%	8,1	4,8%	-20,2 %
GWh e quote		2015	2016	2016/2015		
consumo interno lordo di energia elettrica (al netto dei pompaggi)		327.940	100,0%	324.969	100,0%	-0,9%
di cui:						
Fonti tradizionali		172.658	52,6%	179.921	55,4%	+4,2%
<i>Solidi</i>		43.201	13,2%	35.608	11,0%	-17,6%
<i>Gas naturale</i>		110.860	33,8%	126.148	38,8%	+13,8%
<i>Petroliferi</i>		5.620	1,7%	4.127	1,3%	-26,6%
<i>Altri combustibili</i>		12.976	4,0%	14.039	4,3%	+8,2%
Fonti rinnovabili		108.904	33,2%	108.022	33,2%	-0,8%
<i>Idrica da apporti naturali</i>		45.537	13,9%	42.432	13,1%	-6,8%
<i>Geotermica</i>		6.185	1,9%	6.289	1,9%	+1,7%
<i>Eolica</i>		14.844	4,5%	17.689	5,4%	+19,2%
<i>Fotovoltaica</i>		22.942	7,0%	22.104	6,8%	-3,7%
<i>Bioenergie</i>		19.396	5,9%	19.509	6,0%	+0,6%
Saldo estero		46.378	14,1%	37.026	11,4%	-20,2%

Tabella 4. Quote di produzione di energia elettrica in Italia

GWh	2015	2016	2016/2015
<b>Produzione lorda</b>	<b>282.994,0</b>	<b>289.768,2</b>	<b>2,4%</b>
- idrica	46.969,5	44.257,0	-5,8%
- termica	192.053,5	199.429,7	3,8%
- geotermica	6.185,0	6.288,6	1,7%
- eolica	14.843,9	17.688,7	19,2%
- fotovoltaica	22.942,2	22.104,3	-3,7%
<b>Consumi dei servizi ausiliari</b>	<b>10.565,8</b>	<b>10.065,6</b>	<b>-4,7%</b>
<b>Produzione netta</b>	<b>272.428,2</b>	<b>279.702,6</b>	<b>2,7%</b>
- idrica	46.450,4	43.784,6	-5,7%
- termica	182.860,6	190.771,1	4,3%
- geotermica	5.823,9	5.867,1	0,7%
- eolica	14.705,8	17.522,5	19,2%
- fotovoltaica	22.587,5	21.757,3	-3,7%
<b>Destinata ai pompaggi</b>	<b>1.909,1</b>	<b>2.468,2</b>	<b>29,3%</b>
<b>Produzione destinata al consumo</b>	<b>270.519,0</b>	<b>277.234,4</b>	<b>2,5%</b>
<b>Ricevuta da fornitori esteri</b>	<b>50.848,6</b>	<b>43.180,6</b>	<b>-15,1%</b>
<b>Ceduta a clienti esteri</b>	<b>4.470,8</b>	<b>6.154,1</b>	<b>37,7%</b>
<b>RICHIESTA</b>	<b>316.896,8</b>	<b>314.260,9</b>	<b>-0,8%</b>
<b>Perdite di rete</b>	<b>19.716,9</b>	<b>18.752,6</b>	<b>-4,9%</b>
in percentuale della richiesta	6,2%	6,0%	
<b>CONSUMI</b>	<b>297.179,9</b>	<b>295.508,3</b>	<b>-0,6%</b>
<b>Agricoltura</b>	<b>5.689,9</b>	<b>5.567,5</b>	<b>-2,2%</b>
<b>Industria</b>	<b>122.362,3</b>	<b>122.738,0</b>	<b>0,3%</b>
- Manifatturiera di base	52.234,0	52.731,4	1,0%
- Manifatturiera non di base	52.983,3	53.055,7	0,1%
<b>Terziario</b>	<b>102.940,5</b>	<b>102.898,5</b>	<b>0,0%</b>
<b>Domestico</b>	<b>66.187,3</b>	<b>64.304,3</b>	<b>-2,8%</b>

Dove con:

*produzione lorda* si intende la produzione di un insieme di impianti di generazione, in un determinato periodo, come la somma delle quantità di energia elettrica prodotta, misurate ai morsetti dei generatori elettrici.

*produzione netta* degli impianti di generazione in un determinato periodo si intende, la somma delle quantità di energia elettrica prodotte, misurate in uscita dagli impianti, deducendo poi la quantità di energia elettrica destinata ai servizi ausiliari della produzione (servizi ausiliari di centrale e perdite nei trasformatori di centrale).

*Energia richiesta* su una rete, in un determinato periodo, si intende la produzione destinata al consumo meno l'energia elettrica esportata più l'energia elettrica importata. L'energia elettrica richiesta è anche pari alla somma dei consumi di energia elettrica presso gli utilizzatori ultimi e delle perdite di trasmissione e distribuzione.

### **1.3 Obiettivi SEN 2017, coerenti con il piano dell'Unione dell'Energia**

Per quanto riguarda i piani energetici futuri l'Italia attraverso il SEN 2017 (Strategia Energetica Nazionale) definisce le linee guida per lo scenario '30 e '50.

Competitività, ovvero ridurre il gap di prezzo dell'energia allineandosi a prezzi UE, in un contesto di prezzi internazionali crescenti. Questi interventi richiedono soluzioni strutturali quali:

- Progressiva convergenza del mix energetico a livello UE e riduzione del costo delle rinnovabili.
- Interventi a tutela dei settori industriali energivori.
- Riduzione della spesa energetica per effetto dell'efficienza e dell'evoluzione tecnologica.

Ambiente, ovvero raggiungere obiettivi ambientali Clima-Energia, in linea con gli obiettivi COP21 in un'ottica 2030-2050. Quest'obiettivo richiede:

- Investimenti crescenti nelle rinnovabili.
- Ulteriore impulso alle FER.

Sicurezza, cioè migliorare la sicurezza di approvvigionamento e la flessibilità del sistema. Per raggiungere tale scopo si estendono gli obiettivi di sicurezza, adeguatezza e qualità delle reti elettriche a:

- Integrazione di quantità crescenti di FER e nuovi scenari europei.
- Gestione dei flussi e punte di domanda.
- Diversificazioni delle fonti.

La strategia energetica nazionale deve considerare le proposte dei vincoli ambientali in corso di condivisione in Europa.

**Tabella 5. Strategia energetica nazionale**

	<b>Obiettivi nazionali al 2020</b>	<b>Situazione al 2015</b>	<b>Proposte e misure vincolanti a livello nazionale e/o europeo al 2030</b>
<b>Efficienza energetica</b>	1,5% di risparmio annuo da politiche attive	~1,4% di risparmi annui ottenuti da politiche attive nel biennio 2014-2015	La Commissione UE ha proposto mantenimento regime obbligatorio 1,5% di risparmio annuo da politiche attive per ogni Stato Membro
<b>Emissioni</b>	Riduzione emissioni gas serra non-ETS del 13% rispetto a livelli 2005	~17% riduzione emissioni non-ETS rispetto a livelli 2005	La Commissione UE ha proposto riduzione 33% emissioni gas serra non-ETS per l'Italia rispetto a livelli 2005
<b>Rinnovabili</b>	Penetrazione rinnovabili (elettriche, termiche e trasporti) al 17% sui consumi complessivi lordi	17,5% di penetrazione rinnovabili su consumi complessivi lordi (33,5% elettrico, 19,2% termico e 6,4% trasporti)	La Commissione UE ha proposto obiettivo UE (non declinata a livello nazionale) 27% su consumi complessivi lordi

## 2. Energia elettrica, legislazione e consumi delle apparecchiature di un edificio

---

In un'ottica di risparmio energetico attraverso il monitoraggio dei consumi, si è pensato di inserire alcune informazioni riguardanti i consumi degli elettrodomestici più comuni nelle nostre abitazioni, molti dei quali monitorati infatti con il progetto Energy@Home.

Viene inoltre illustrato il quadro normativo riguardante il risparmio energetico.

Inizialmente si cita la prima Direttiva in materia di risparmio che è stata redatta agli inizi degli anni '90 (la direttiva 92/75/CEE emanata dall'Unione Europea), che è andata ad introdurre l'etichettatura energetica degli elettrodomestici; dopodiché viene descritto in modo dettagliato un esempio tipico di etichetta energetica.

Verranno inoltre indicati i principali elettrodomestici presenti all'interno di un'abitazione residenziale (presenti nei dati forniti per il progetto smart metering); per ognuno di essi è stato riportato il consumo tipico annuale (relativo alle diverse etichette energetiche), associando l'andamento del carico orario di un giorno medio annuale. Si riporta infine un grafico a torta che stima il peso di ogni elettrodomestico sul consumo elettrico annuale di un'abitazione residenziale.

Nel paragrafo finale si andranno a presentare gli andamenti del costo dell'energia elettrica per gli utenti domestici in relazione al consumo annuo.

### 2.1 Etichetta energetica

#### 2.1.1 Definizione

Il dovere di proteggere l'ambiente, unito ad un adeguato livello di benessere, è alla base delle scelte che riguardano la produzione ed il consumo dell'energia. L'uso oculato delle risorse, energetiche ma non solo, comporta un duplice beneficio: il singolo cittadino si troverà a pagare una bolletta meno cara e la collettività verrà avvantaggiata da un minore inquinamento e una minore necessità di importare energia e materie prime.

L'etichetta energetica degli elettrodomestici è simile alla certificazione energetica degli edifici ed indica una suddivisione della scala di consumi energetici degli apparecchi elettrici normata

dall'Unione Europea. L'etichetta evidenzia appunto i consumi annuali, espressi in [kWh], di un elettrodomestico tramite lettere che vanno dalla A+++ alla G. in base al tipo di elettrodomestico, variano anche le fasce corrispondenti ad una certa classe.

L'etichetta energetica comunitaria è nata con l'intenzione di informare le utenze (i cittadini) sul consumo di energia elettrica, in modo da favorire la riduzione dei consumi attraverso la loro razionalizzazione, e di conseguenza diminuire l'inquinamento atmosferico; inoltre, essa va a favorire lo sviluppo tecnologico nell'ambito dei beni legati al consumo elettrico.

## **2.2 Storia**

Si inizia a parlare di etichettatura energetica a partire dal 1992, attraverso la Direttiva 92/75/CEE emanata dall'Unione Europea; quest'ultima ha stabilito la necessità di applicare un'etichetta energetica agli elettrodomestici principali.

Inizialmente esisteva una suddivisione in sette classi di efficienza energetica, dalla A alla G. Solo a partire dall'anno 2003 vengono introdotte due nuove classi di efficienza energetica (A+ e A++). Inizialmente esse sono state utilizzate per gli elettrodomestici legati alla refrigerazione, ma in seguito sono state estese a quasi la totalità dei dispositivi elettrici, grazie alla sempre maggiore ricerca tecnologica e alla crescente domanda di prodotti efficienti da parte degli utenti finali.

La nuova Direttiva emanata nel 2010, la 2010/30/UE, che ha permesso di applicare l'etichettatura energetica a tutti i prodotti domestici allacciati all'energia elettrica. Con questa definizione si distinguono sia i prodotti che consumano nella fase di utilizzo (impatto diretto) sia i prodotti che aiutano la conservazione dell'energia nella fase d'uso (impatto indiretto). Si è reso necessario estendere l'etichetta a tre nuove classi di efficienza energetica che comprendessero tutti i beni: A+, A++ e A+++. A partire dal settembre 2010 sono state ridefinite le etichette per gli elettrodomestici che già ne erano dotati, mentre sono state introdotte per le televisioni. Viene riportato in Tabella 6 il calendario sugli obblighi di etichettatura:

Tabella 6. Calendario obblighi etichettatura energetica elettrodomestici

Prodotto	Direttiva 92/75/CEE	Direttiva 2010/30/UE	
	Obbligo di etichetta	Uso volontario della nuova etichetta	Obbligatorietà della nuova etichetta
<b>Frigoriferi e frigocongelatori</b>	-	-	30/11/2011
<b>Congelatori</b>	-	-	30/11/2011
<b>Cantinette per il vino</b>	nessuno	-	30/11/2011
<b>Lavatrici</b>	-	-	20/12/2012
<b>Lavastoviglie</b>	-	-	20/12/2012
<b>Asciugatrici</b>	dal 1996	29/05/2012	29/05/2013
<b>Condizionatori d'aria</b>	-	-	01/01/2013
<b>Lampade elettriche</b>	dal 2001	16/10/2012	01/09/2013
<b>Apparecchi per l'illuminazione</b>	nessuno	16/10/2012	01/09/2013
<b>Televisori</b>	nessuno	-	30/11/2011

L'etichetta, di cui un esempio è riportato in Figura 1, non contiene solamente informazioni legate al consumo elettrico, ma bensì anche dati sulle caratteristiche tecniche (come volume e capacità di carico) e prestazioni tecniche (come l'efficienza di centrifugazione o di asciugatura). L'etichettatura varia in base ai diversi elettrodomestici ma presenta elementi ricorrenti e la stessa conformazione grafica, ossia una serie di frecce di lunghezza crescente e di colore differente. Ad ogni freccia è associata una lettera che indica la classe di efficienza energetica. Solitamente sono visibili solo 7 frecce con le rispettive lettere. Sono altresì sempre visibili il consumo annuo medio di energia elettrica espresso in [kWh], in aggiunta ad informazioni che riguardano il produttore e il modello.

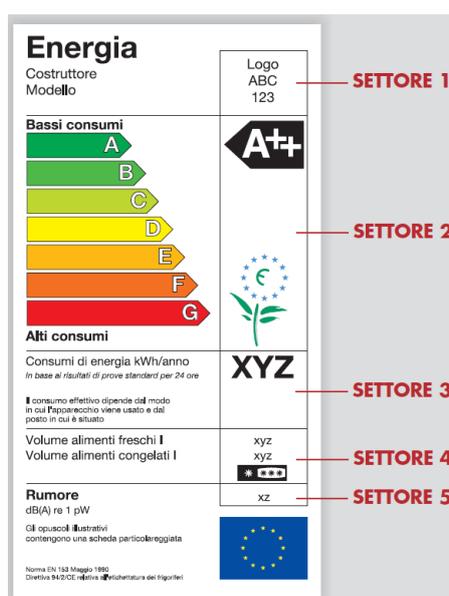


Figura 1. Esempio di etichetta energetica

In generale l'etichetta energetica è divisa in 5 settori:

- *Settore 1:* si riporta il marchio del produttore e il nome del modello;
- *Settore 2:* si riporta la classe di efficienza energetica attraverso una rappresentazione grafica, in cui il colore delle classi e la lunghezza delle barre che le rappresentano, esprimono in modo visivo l'efficienza del prodotto. Le classi di consumo variano a seconda della tipologia di elettrodomestico;
- *Settore 3:* si riporta il consumo energetico annuo espresso in [kWh]. Il consumo è calcolato in condizioni di funzionamento standard;
- *Settore 4:* si riportano le caratteristiche prestazionali fondamentali relative all'apparecchio e come possono incidere sul consumo energetico (classe di efficienza del lavaggio, dell'asciugatura, ecc.);
- *Settore 5:* si riporta il livello di rumorosità a regime dell'apparecchio.

Con il passare del tempo e la grande penetrazione nel mercato globale, è stata emanata una specifica legislazione comunitaria per alcune apparecchiature, che hanno stabilito i requisiti minimi di efficienza energetica per poter essere messi in commercio:

- *Frigoriferi e congelatori:* classe di efficienza energetica minima A+, dal 1 luglio 2012;
- *Lavatrici:* classe di efficienza energetica minima A, dal 1 dicembre 2011;
- *Lavastoviglie:* classe di efficienza energetica minima A, dal 1 dicembre 2011.

## **2.3 Analisi residenziale**

Nella parte seguente si è cercato di ricostruire la quota di energia elettrica consumata da un'abitazione tipo, differenziando il peso sostenuto dai diversi elettrodomestici. I componenti presi in considerazione come maggiori assorbitori di energia elettrica sono stati:

- Lavatrice;
- Lavastoviglie;
- Frigocongelatore;
- Televisore;
- Forno ad incasso;
- Personal Computer;
- Condizionatore;
- Illuminazione.

Si individuano una serie di variabili di diversa natura che vanno ad influenzare il consumo degli elettrodomestici; esse sono riportate nell'elenco seguente:

- Superficie abitabile;
- Numero degli occupanti;
- Localizzazione geografica;
- Campione di occupanti;
- Fattori stagionali e quotidiani;
- Livello di occupazione del proprietario;
- Stato sociale degli occupanti.

Si va ora ad analizzare in dettaglio ognuno degli apparecchi elettrici sopra citati.

### 2.3.1 Lavatrice

La lavatrice è un elettrodomestico ormai largamente diffuso ed indispensabile in ogni abitazione e si può obiettivamente ipotizzare che ognuna di esse ne abbia in dotazione almeno una.

Per quel che concerne il consumo di una lavatrice, a parità di potenza nominale e di età, esso dipende essenzialmente dal programma di lavaggio inserito, ma anche dalla temperatura selezionata per l'acqua di lavaggio. Le lavatrici più recenti, infatti, offrono un'ampia gamma di programmi che in base ai più comuni tipi di tessuto, adatta il lavaggio in modo da consumare acqua ed energia in modo razionale, oltre ad utilizzare maggiormente i cicli "a freddo" o a temperature regolabili.

Si riportano di seguito le diverse classificazioni energetiche per lavatrici con livelli di carico differenti; i consumi sono stati ricavati ipotizzando lavaggi a 40°C e 60°C in condizioni di laboratorio. A partire dal 2012 la classe minima di efficienza per le lavastoviglie è la A.

**Tabella 7. Classi energetiche lavatrici con 6 kg di carico (sinistra) e 9 kg di carico (destra)**

CLASSE	Consumo (kWh/anno)	CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A+++	EC < 154	A+++	EC < 218
A++	154 ≤ EC < 173	A++	218 ≤ EC < 246
A+	173 ≤ EC < 196	A+	246 ≤ EC < 279
A	196 ≤ EC < 226	A	279 ≤ EC < 322
B	226 ≤ EC < 256	B	322 ≤ EC < 365
C	256 ≤ EC < 290	C	365 ≤ EC < 412
D	EC ≥ 290	D	EC ≥ 412

La domanda di lavatrici, come quella dei frigoriferi con congelatore abbinato, è per quasi il 70-80% riconducibile al ciclo di sostituzione dei beni esistenti. L'introduzione nel mercato di apparecchiature più efficienti è stato dunque un aspetto fondamentale per poter aumentare le vendite da parte dei produttori. Si nota in Figura 2 come si sia evoluto il mercato delle vendite nel tempo in riferimento alle diverse classi energetiche. Nel 2002 la classe A presentava già una buona fetta del mercato delle vendite (58,7%) e nel 2007 le classi B e C sono quasi scomparse per lasciare spazio alla classe A+. Successivamente il mercato si è andato a sviluppare verso classi energetiche più performanti quali la A++ e la A+++.

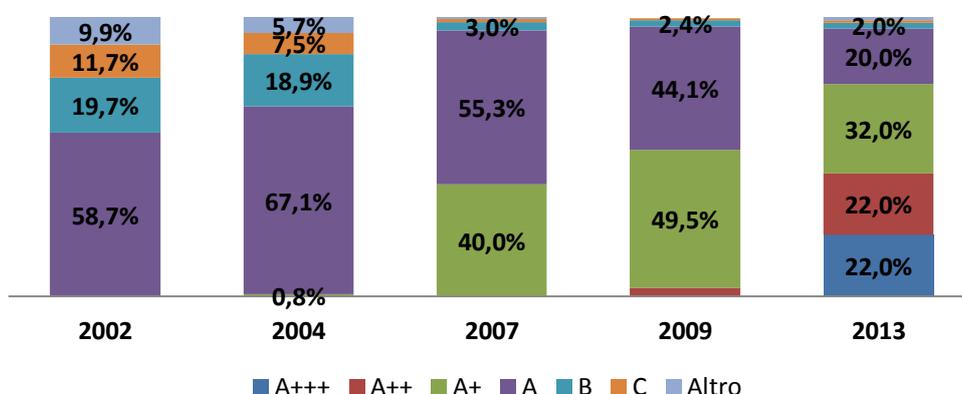


Figura 2. Vendite di lavatrici per classi energetiche in percentuale

In Figura 3 si riporta l'andamento del carico medio giornaliero monitorato dal progetto MICENE sulle abitudini delle famiglie italiane. Dal grafico si evince in modo chiaro che le abitudini degli utenti sono quelle di azionare la lavatrice al mattino in modo da far asciugare i panni nel corso del pomeriggio, che comprende le ore più calde della giornata.

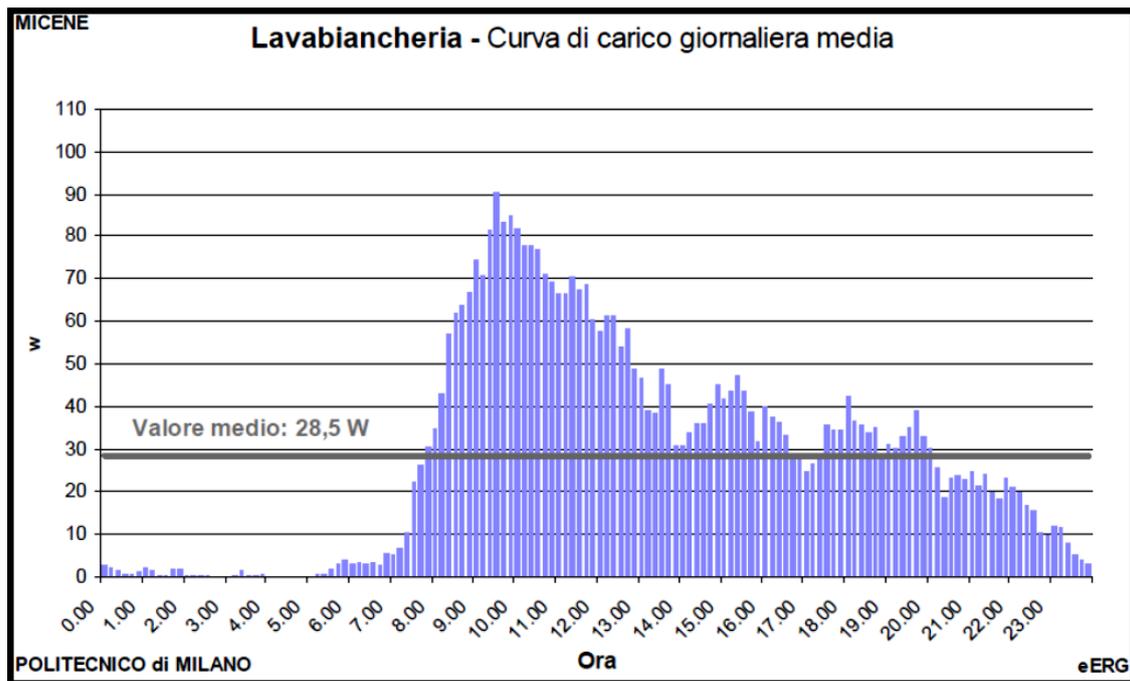


Figura 3. Curva di carico media giornaliera di una lavatrice

### 2.3.2 Lavastoviglie

La lavastoviglie presenta un livello di penetrazione più basso rispetto ad altri elettrodomestici e questo lo si vede dai dati del 2013 che riportano una fetta nel mercato abitativo residenziale che si attesta intorno al 46,4%.

Per quel che concerne il consumo di una lavastoviglie esso dipende come per le lavatrici, dal ciclo di lavaggio, come per le lavatrici, ma con la differenza che la temperatura dell'acqua deve essere più elevata in quanto si deve garantire l'eliminazione dei batteri e dello sporco. Inoltre il suo uso dipende direttamente dal numero di componenti di cui è composta la famiglia; la frequenza dei cicli di lavaggio dipende dal nucleo familiare e può variare tra più cicli al giorno per le famiglie numerose a qualcuno a settimana per quelle con pochi componenti.

Il consumo annuale di energia è stimato in riferimento all'uso di un programma standard per stoviglie normalmente sporche a pieno carico, così come il consumo annuale di acqua e la classe di efficienza energetica per la fase di asciugatura. Il numero medio di cicli per settimana è pari a circa 4,6. A partire dal 2012 la classe minima di efficienza per le lavastoviglie è la A.

Tabella 8. Classi energetiche lavastoviglie standard da 12 coperti

CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A+++	EC < 231
A++	231 ≤ EC < 258
A+	258 ≤ EC < 290
A	290 ≤ EC < 327
B	327 ≤ EC < 369
C	369 ≤ EC < 415
D	EC ≥ 415

Come già accennato per le lavatrici, c'è stata una sensibile crescita nella vendita di lavastoviglie ad elevata efficienza energetica. Le vendite di prodotti di classe A hanno raggiunto il 72% nel 2011 (Figura 4), mentre per i prodotti di classe inferiore alla B si è registrata una percentuale di poco inferiore al 2%. Negli anni successivi il mercato si è andato a sviluppare verso classi energetiche più performanti quali la A++ e la A+++.

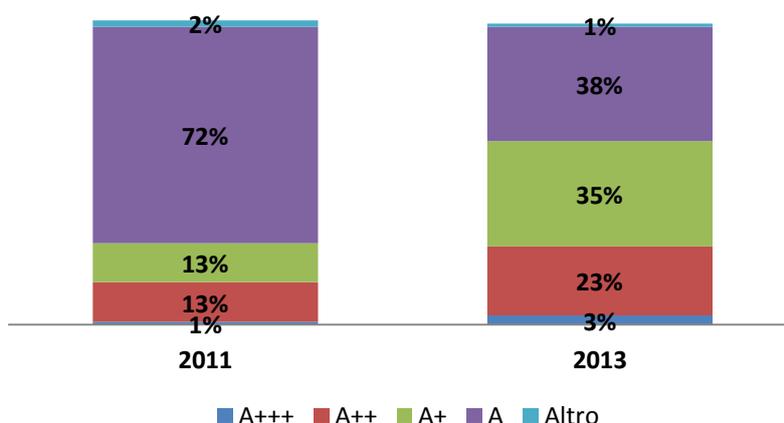


Figura 4. Vendite lavastoviglie per classi energetiche in percentuale

In Figura 5 si riporta l'andamento del carico medio giornaliero monitorato dal progetto MICENE sulle abitudini delle famiglie italiane. Si nota che i periodi di azionamento della lavastoviglie sono sostanzialmente tre: il principale si individua alla sera dopo cena, poi se ne trova un altro a metà pomeriggio, e infine si registra un ciclo di lavaggio nella tarda mattinata tra le 9.00 e le 10.00.

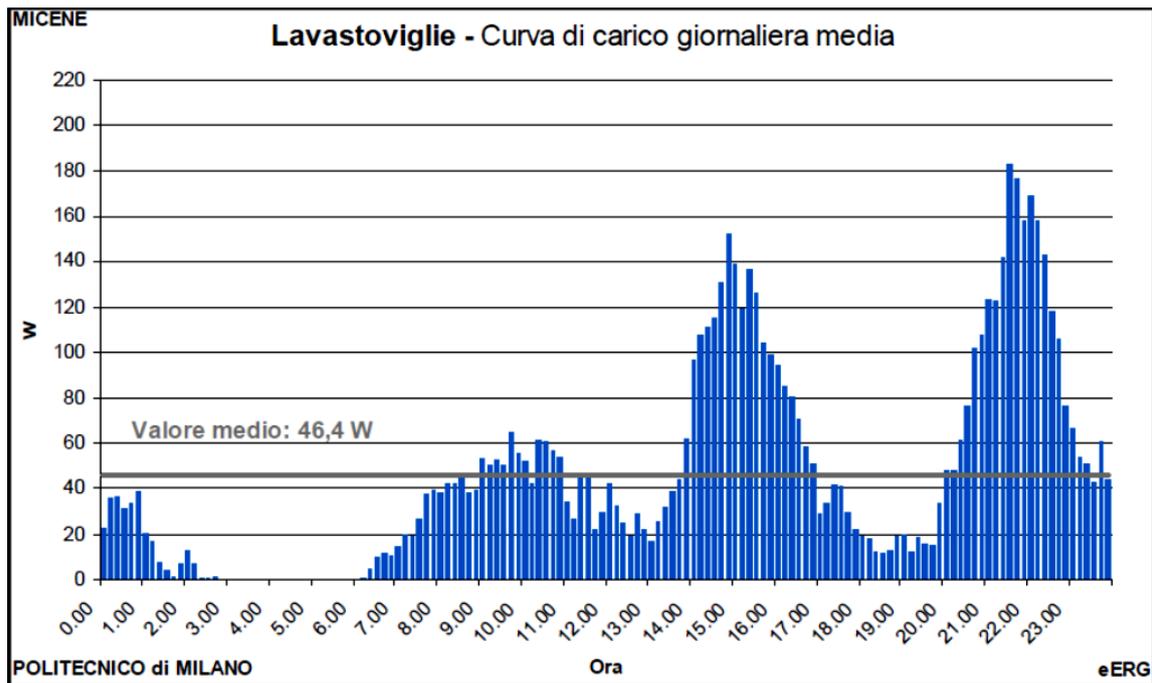


Figura 5. Curva di carico media giornaliera di una lavastoviglie

### 2.3.3 Frigoriferi e congelatori

Gli elettrodomestici che appartengono alla refrigerazione possono essere raggruppati in 4 tipologie:

- Frigoriferi con congelatori;
- Frigoriferi;
- Congelatori orizzontali;
- Congelatori verticali.

La distinzione tra di essi è abbastanza chiara e nel caso in esame si parlerà esclusivamente dei frigoriferi con congelatore integrato, che sono gli apparecchi maggiormente diffusi nelle case degli italiani.

Un tipico frigocongelatore ha una taglia di 300 litri (200 litri frigorifero, 100 litri congelatore) e i suoi consumi elettrici annui sono riportati in Tabella 9. A partire dal 2012 la classe minima di efficienza per i frigocongelatori è la A+.

Tabella 9. Classi energetiche tipico frigocongelatore

CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A+++	EC < 138
A++	138 ≤ EC < 205
A+	205 ≤ EC < 274
A	274 ≤ EC < 343
B	343 ≤ EC < 468
C	468 ≤ EC < 593
D	593 ≤ EC < 687

Si ricorda che la classe energetica è definita in relazione al volume e che il consumo annuo è misurato in condizioni standard: quindi sarà diverso dal consumo reale del frigorifero in condizioni operative. E' consigliabile quindi acquistare apparecchi per il freddo dimensionati secondo le proprie esigenze e dalle buone prestazioni energetiche, senza sovrastimare i propri bisogni. Si riporta il caso di un frigorifero di media capacità (220-280 litri) con una parte adibita a congelatore da 50 litri, il quale consuma circa 450 [kWh] in un anno. Indicativamente si ha un aumento di 80-90 [kWh] sul consumo elettrico annuale ogni 100 litri di capacità in più.

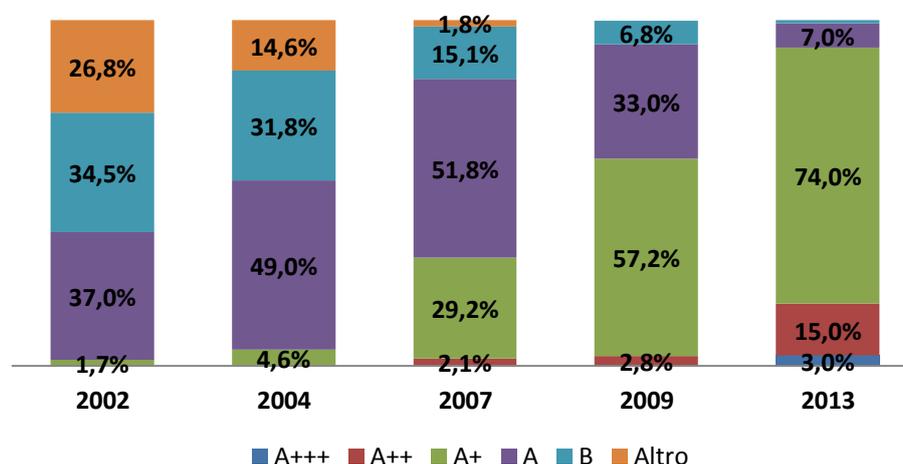


Figura 6. Vendite frigocongelatori per classi energetiche in percentuale

Il grafico in Figura 6 evidenzia come chiaramente la vendita dei prodotti si stia spostando sempre di più verso le classi a maggiore efficienza evidenziando la progressiva sparizione delle classi più basse (C e B) per fare spazio a quelle nuove di elevata efficienza (A+ e A++). Nel 2007, in particolare, gli apparecchi di classe A o superiore avevano già raggiunto una quota pari a circa l'80% sul totale dei prodotti venduti a livello europeo. Grazie al comparto

R&D introdotto dalle imprese negli ultimi 15 anni, si è potuto assistere ad un miglioramento del consumo medio di un frigorifero quantificabile intorno al 45%.

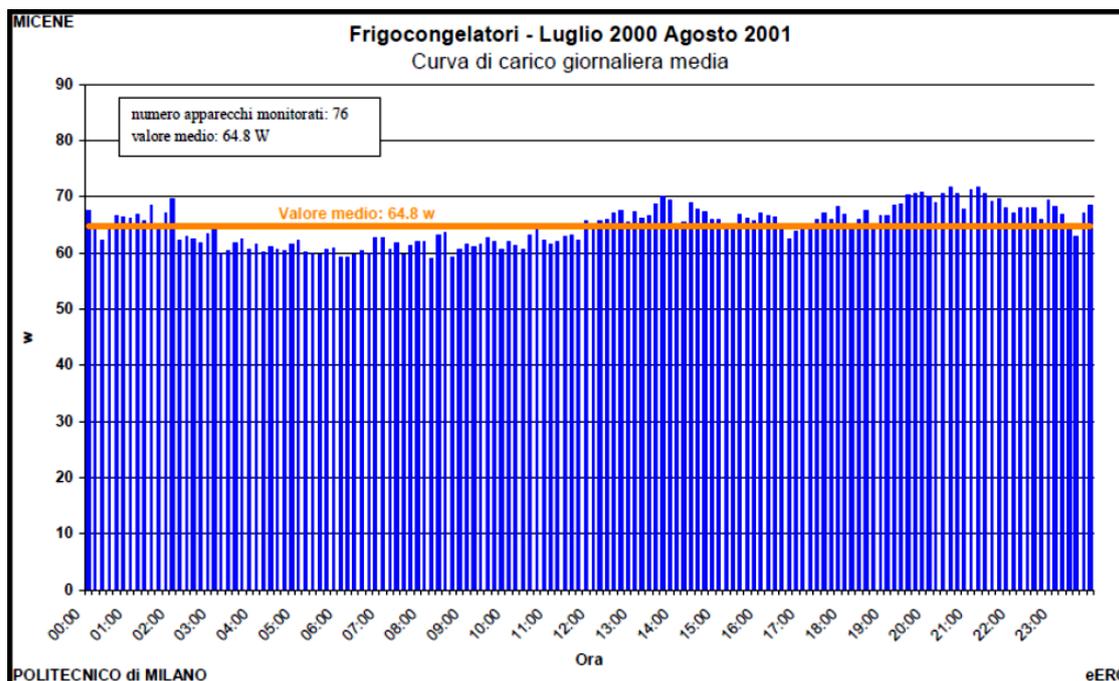


Figura 7. Curva di carico media giornaliera di un frigocongelatore

In Figura 7 si riporta l'andamento del carico medio giornaliero monitorato dal progetto MICENE sulle abitudini delle famiglie italiane. Analizzando la curva di carico si nota che durante il funzionamento non si presentano picchi accentuati, questo è dovuto al fatto che i cicli di accensione e spegnimento vengono opportunamente ripartiti nell'arco della giornata. Rispetto al valore medio si può però vedere un leggero aumento di consumo intorno alle ore dei pasti, questo può essere spiegato dal suo utilizzo e quindi dall'apertura delle porte del frigocongelatore.

### 2.3.4 Televisore

Con questo termine si intendono tutti gli apparecchi collegati al televisore quali, lettore DVD, decoder o antenne interne che, solitamente, sono presenti in tutte le abitazioni e possono dare un'idea del consumo d'insieme per questo tipo di intrattenimento.

Il televisore è oggi largamente diffuso ed in ogni abitazione se ne registra anche più di uno e ciò è anche dovuto al calo dei prezzi degli ultimi anni.

Un esempio di classificazione energetica di un televisore a cristalli liquidi è riportato in Tabella 10. Il consumo annuale di energia è calcolato per un funzionamento di 4 ore al giorno per 365 giorni. A partire dal 2012 la classe minima di efficienza per i televisori è la D.

Tabella 10. Classi energetiche tipico televisore da 40"

CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A+++	$EC < 31$
A++	$49 \leq EC < 31$
A+	$70 \leq EC < 49$
A	$92 \leq EC < 70$
B	$129 \leq EC < 92$
C	$185 \leq EC < 129$
D	$247 \leq EC < 185$
E	$278 \leq EC < 247$
F	$309 \leq EC < 278$
G	$EC \geq 309$

I consumi dei televisori dipendono dalla tecnologia dello schermo e dalla sua grandezza in pollici: LCD, plasma e LED che hanno un profilo di assorbimento elettrico differente.

In Figura 8 si riporta l'andamento del carico medio giornaliero monitorato dal progetto MICENE sulle abitudini delle famiglie italiane. Si nota come i picchi di consumo siano concentrati nei momenti in cui la maggior parte delle persone sono a casa da lavoro, quindi pranzo e la sera dopo cena.

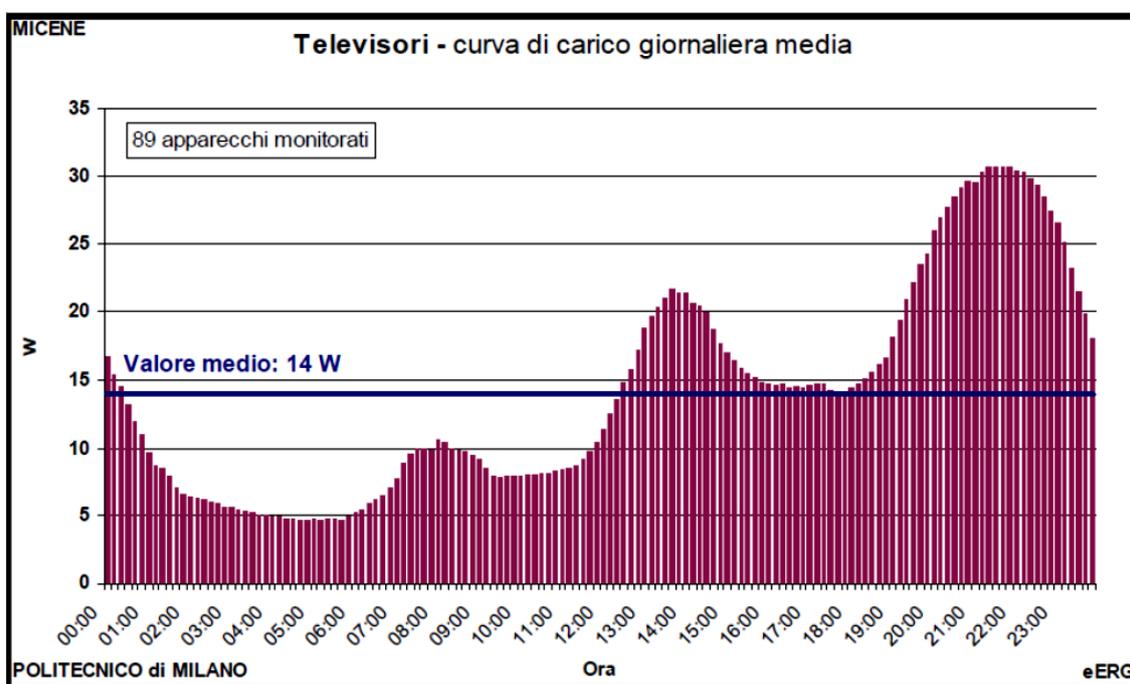


Figura 8. Curva di carico media giornaliera di un televisore

### 2.3.5 Forno elettrico

Il forno elettrico è una delle maggiori fonti di consumo di energia elettrica in un'abitazione. Il principio di funzionamento molto basilare e consiste nel passaggio di corrente elettrica in una

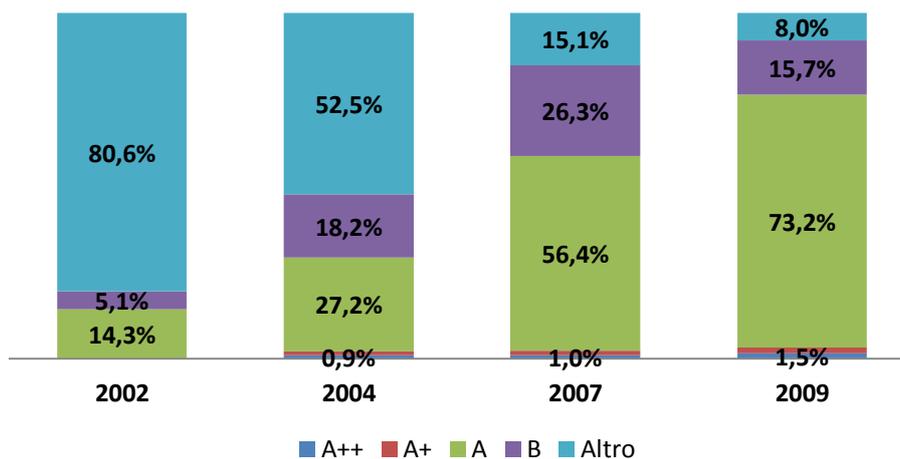
resistenza che attraverso l'effetto Joule produce calore, utile per la cottura dei cibi. Tale processo è altamente energivoro e rappresenta la quasi totalità del consumo di un forno. L'illuminazione interna e la ventilazione hanno un'incidenza relativamente bassa sul consumo globale.

Si riportano, a titolo di esempio, le classificazioni energetiche di forni elettrici di dimensioni medio-piccole. I consumi sono calcolati valutando 100 cicli di cottura all'anno.

**Tabella 11. Classi energetiche forni elettrici di volume 12-35 litri (sinistra) e di volume 35-60 litri (destra)**

CLASSE	Consumo (kWh/anno)	CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A	EC < 60	A	EC < 80
B	60 ≤ EC < 80	B	80 ≤ EC < 100
C	80 ≤ EC < 100	C	100 ≤ EC < 120
D	100 ≤ EC < 120	D	120 ≤ EC < 140
E	120 ≤ EC < 140	E	140 ≤ EC < 160
F	140 ≤ EC < 160	F	160 ≤ EC < 180
G	EC ≥ 160	G	EC ≥ 180

In Figura 9 viene riportata l'evoluzione temporale delle vendite suddivise per classi energetiche; si nota come, a differenza degli altri elettrodomestici, la classe predominante sia ancora la classe A e si stia andando molto lentamente verso classi superiori quali A+ e A++.



**Figura 9. Vendite forni elettrici per classi energetiche in percentuale**

### 2.3.6 Personal computer

I personal computer possono essere inclusi nel gruppo di elettrodomestici che vengono classificati come Information-Tecnology, di cui fanno parte anche stampanti, scanner, ecc.

Le apparecchiature elettroniche, come il computer portatile, presentano, oltre ai consumi legati al loro normale utilizzo, dei consumi che vengono definiti “nascosti”. Tali consumi nascosti spesso non vengono presi in considerazione dall’utente finale, ma costituiscono una quota non trascurabile del consumo annuale. Essi sono legati alla modalità stand-by in cui molti apparecchi vengono lasciati e sono dovuti ai trasformatori di alimentazione e ad alcune parti di circuiteria interna che producono dissipazioni.

Anche gli apparecchi che vengono classificati come Information-Tecnology prevedono la presenza di un’etichetta energetica, come tutti gli altri elettrodomestici presenti in un’abitazione.

L’introduzione di un’etichettatura volontaria per tali apparecchiature è nata a partire dal 2001 quando è stato approvato dal Parlamento Europeo il programma comunitario “Energy Star”. Questo programma che è tutt’ora in vigore, ha l’obiettivo finale di etichettare tutte le apparecchiature da ufficio con un’elevata efficienza energetica. Infatti, queste apparecchiature rappresentano una quota significativa del consumo totale di energia elettrica nel settore domestico e soprattutto nel settore terziario.

Il programma “Energy Star” garantisce che gli apparecchi etichettati con lo specifico logo (una stella a cinque punte, come riportato in Figura 10) abbiano un ridotto consumo energetico. Attualmente possono essere etichettati: computer, monitor, stampanti, fax, fotocopiatrici, scanner e dispositivi multifunzione (ad esempio stampanti e fotocopiatrici insieme).

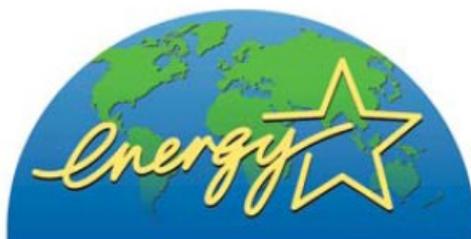


Figura 10. Logo Energy Star

In Figura 11 si riporta l’andamento del carico medio giornaliero monitorato dal progetto MICENE sulle abitudini delle famiglie italiane. Per i computer il discorso è simile a quello fatto

per i televisori e grazie alla larga diffusione di internet il computer diventa uno strumento di intrattenimento utilizzato di frequente, anche maggiormente della televisione in quanto grazie ad internet non si è vincolati a orari e programmi fissi.

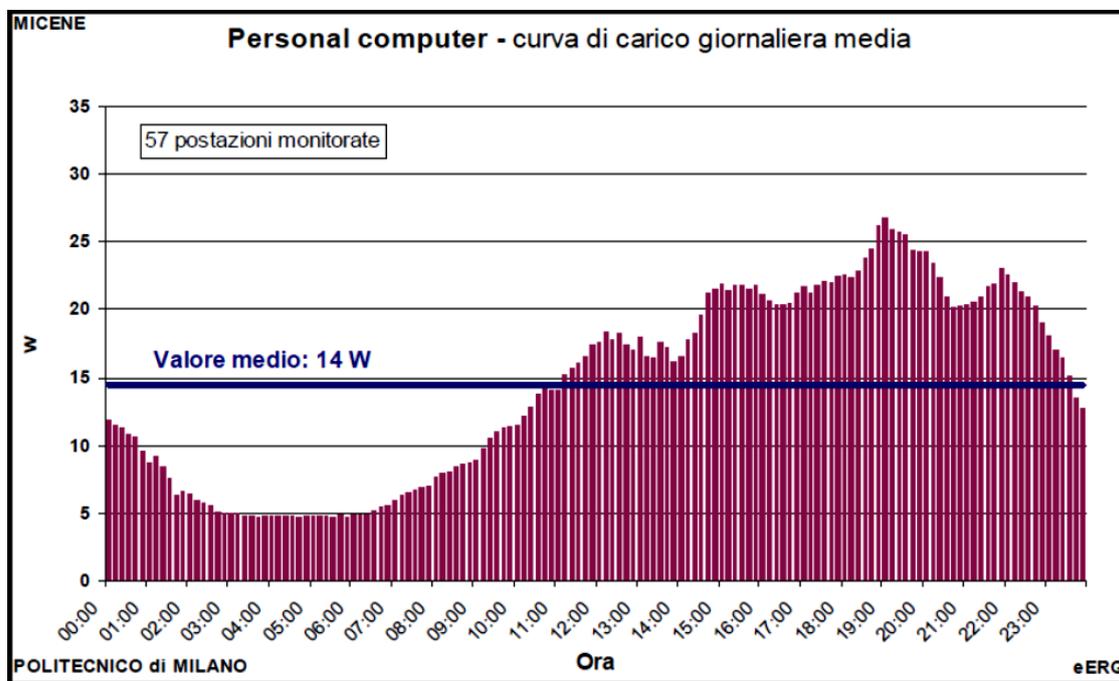


Figura 11. Curva di carico media giornaliera di un PC

### 2.3.7 Condizionamento (Climatizzatori)

L'uso di condizionatori, in ambito europeo, rappresenta una quota importante del consumo di elettricità nelle utenze domestiche. L'utilizzo e, quindi, i consumi dei climatizzatori sono dipendono in maniera netta dalle condizioni climatiche (temperatura ed umidità). Ne esistono di molteplici tipologie e se ne riportano alcuni esempi di seguito:

- Apparecchi raffreddati ad aria: split e multisplit, monoblocco a doppio condotto, monoblocco a condotto semplice;
- Apparecchi raffreddati ad acqua: split e multisplit, monoblocco.

La forte e costante crescita del mercato dei condizionatori è stata alimentata da una profonda ricerca del comfort e del benessere. Nonostante ciò essi sono diffusi in forma minore (poiché non ritenuti indispensabili) rispetto ad altri apparecchi elettrici e dati riferiti al 2013 riportano una penetrazione nel mercato residenziale inferiore al 25%. Si riporta, a titolo di esempio, la classificazione energetica di un modello medio di condizionatore split (tipologia più diffusa)

con potenza di raffreddamento di 5,7 [kW], raffreddato ad aria, con un funzionamento pari a 500 ore annue.

Tabella 12. Classi energetiche condizionatore split da 5,7 [kW]

CLASSE	Consumo (kWh/anno)
A	$EC < 891$
B	$891 \leq EC < 950$
C	$950 \leq EC < 1018$
D	$1018 \leq EC < 1096$
E	$1096 \leq EC < 1188$
F	$1188 \leq EC < 1295$
G	$EC > 1295$

### 2.3.8 Illuminazione

Le sorgenti di luce presenti nelle abitazioni possono essere fundamentalmente divise in cinque tipi:

- lampade a incandescenza;
- lampade alogene;
- lampade fluorescenti;
- lampade compatte fluorescenti (CFL);
- lampade a LED.

Negli ultimi anni si sono riscontrate importanti evoluzioni tecnologiche, che hanno avuto il merito di migliorare le prestazioni delle lampadine. In particolare sono state introdotte le lampade compatte fluorescenti (CFL) e le lampadine a LED che, a parità di prestazioni fornite, riducono notevolmente i consumi energetici rispetto alle lampade a incandescenza, quest'ultime ormai fuori mercato.

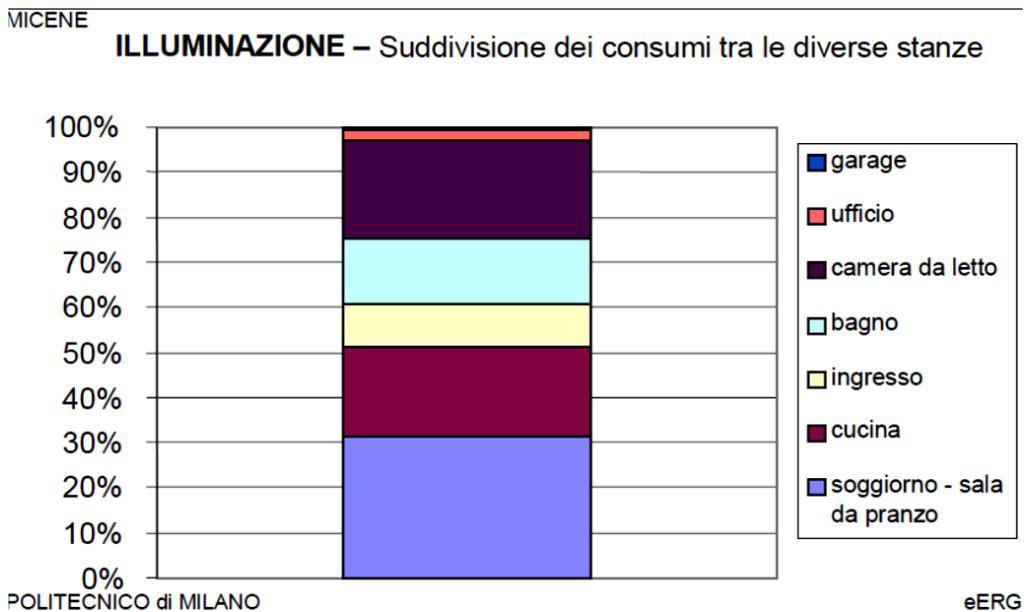
Le lampade a LED sono senza dubbio il futuro dell'illuminazione, in quanto riescono ad associare un ridotto consumo energetico ad una buona qualità del flusso luminoso. Questa tecnologia è in continuo miglioramento, riproducendo anche luce calda come le vecchie lampadine ad incandescenza e permette dimensioni notevolmente ridotte.

A partire da luglio 2002 l'etichettatura energetica è stata introdotta obbligatoriamente anche per le lampade ad uso domestico, con l'applicazione della stessa sull'imballaggio. Vengono

escluse da etichettatura le lampade che hanno un flusso luminoso molto basso. Il consumo viene riportato in kWh/1000h.

Secondo fonti bibliografiche la percentuale media di consumo elettrico annuale dovuto all'illuminazione degli ambienti in Italia varia tra il 7%-10% a secondo del consumo medio annuale di un utente.

Figura 12. Illuminazione nelle diverse stanze



Nelle figure 13-14-15 sono riportate le curve di carico rispettivamente dell'illuminazione, dell'illuminazione nel periodo invernale e dell'illuminazione nel periodo estivo.

Figura 13. Illuminazione, curva di carico giornaliera media

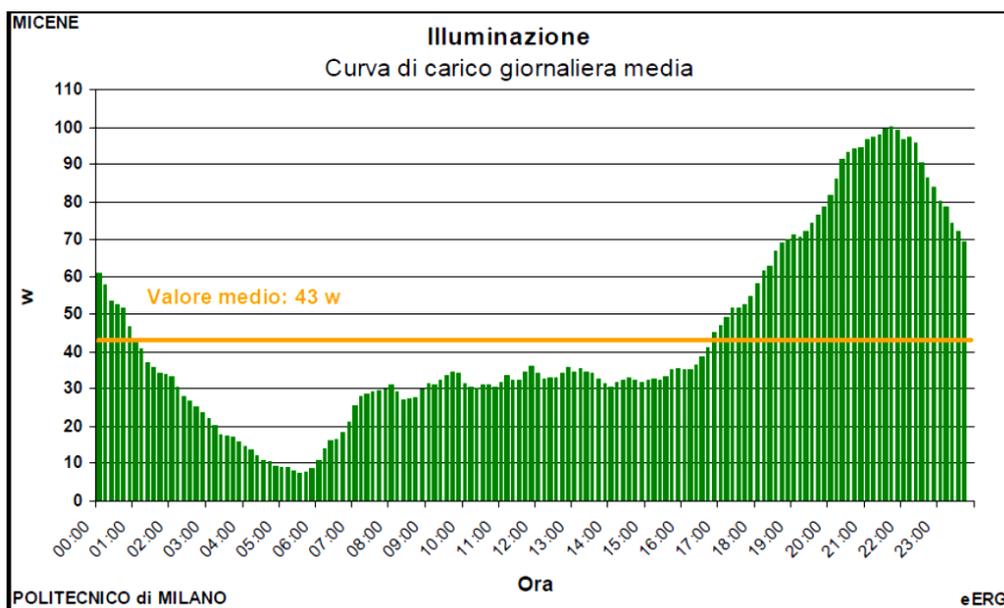


Figura 14. Illuminazione nel periodo invernale, curva di carico giornaliera media

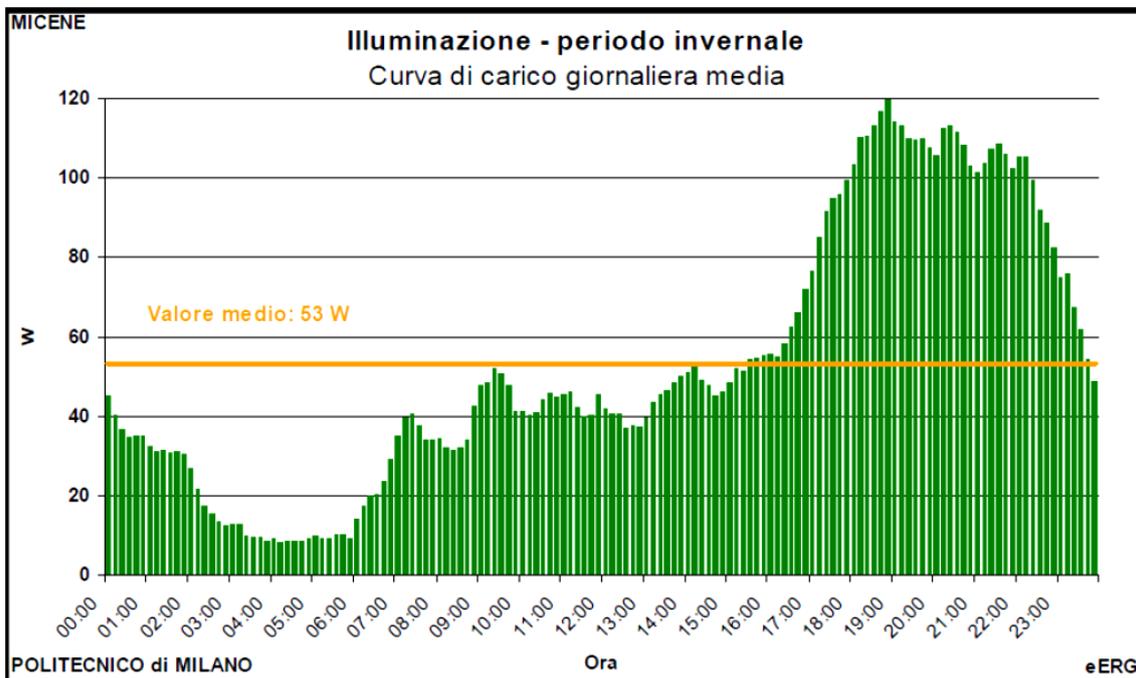
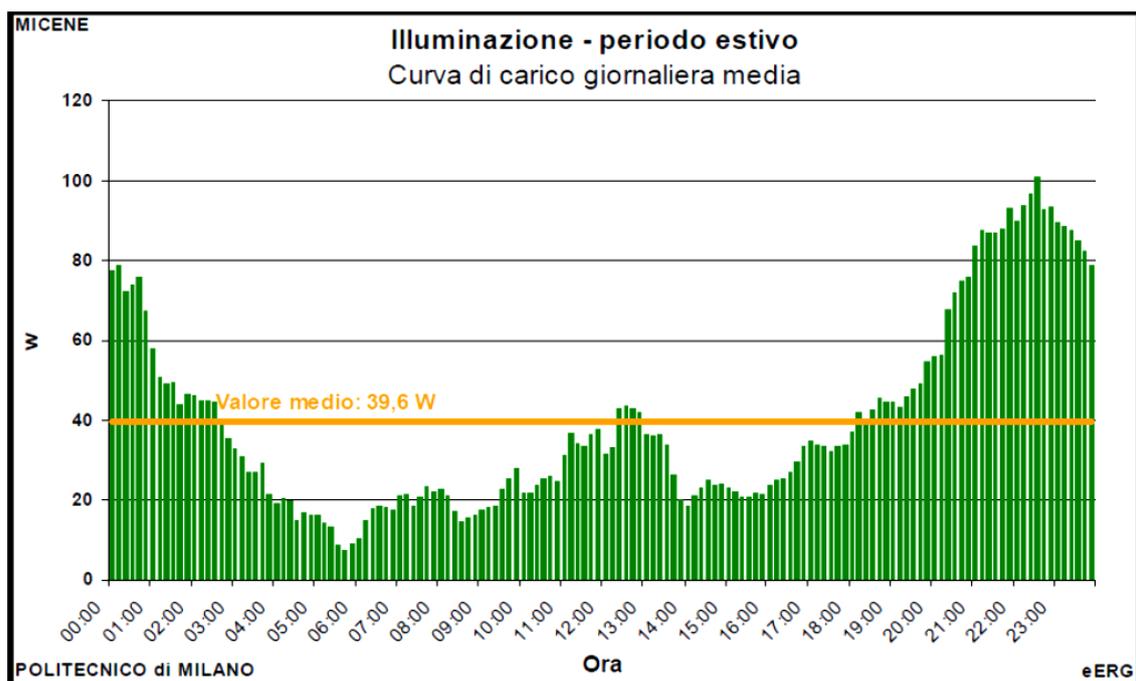


Figura 15. Illuminazione nel periodo invernale, curva di carico giornaliera media



## 2.4 Suddivisione consumi residenziali

Si riporta di seguito, in figura 16, una panoramica generale della suddivisione dei consumi elettrici residenziali dovuti ai diversi elettrodomestici ed apparecchi elettrici.

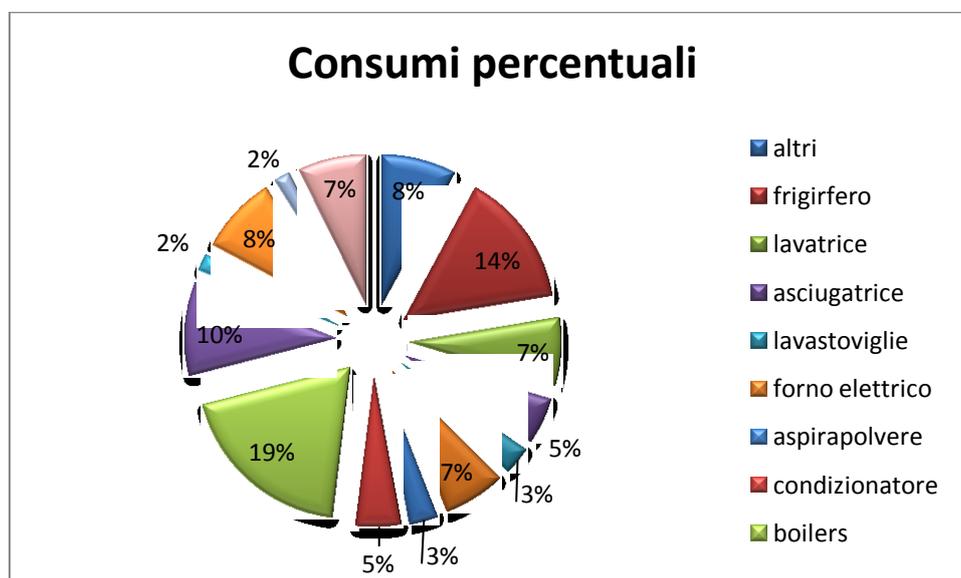


Figura 16. Suddivisione consumi elettrici residenziali nell'UE-27, 2009

Si nota come la parte predominante dei consumi elettrici sia legata alle necessità di raffrescamento e riscaldamento grazie all'uso di condizionatori o scaldabagno elettrici. Inoltre il continuo aumento di elettrodomestici all'interno delle abitazioni residenziali porterà ad un incessante aumento dei consumi elettrici, anche se essi saranno controbilanciati dal progressivo sviluppo tecnologico incentrato sull'efficienza.

## 2.5 Costo dell'energia elettrica

Valutando ora l'aspetto economico relativo ai consumi elettrici si può affermare che il costo complessivo per la fornitura di energia elettrica al cliente residenziale è composto principalmente da quattro parti:

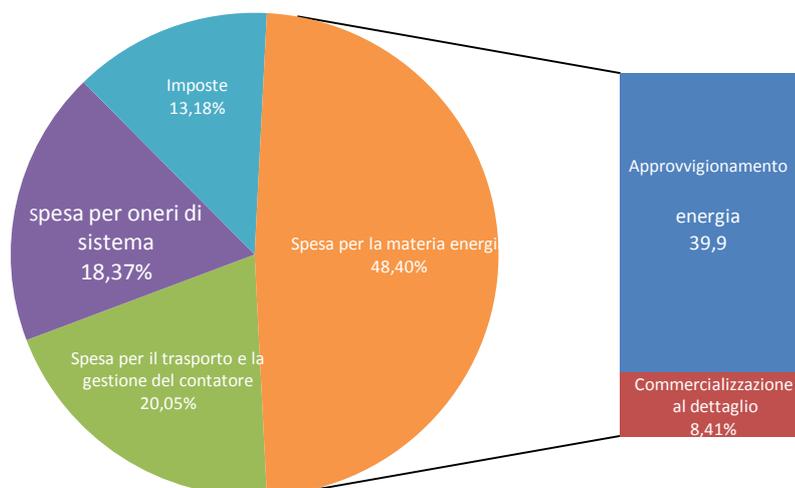
- servizi di rete (i.e. tariffe di trasmissione e distribuzione);
- servizi di vendita (prezzi dell'energia e dei servizi di fornitura e commercializzazione);
- oneri generali di sistema (*"componenti tariffarie a copertura degli oneri derivanti dalla incentivazione delle fonti rinnovabili, dallo smantellamento degli impianti nucleari, dalla ricerca di sistema, dal bonus sociale, dalle agevolazioni per clienti industriali energivori e per i consumi ferroviari agevolati"*);
- tasse (accise e IVA).

Si fa riferimento a ad un consumatore domestico tipo, con fornitura di 3[kW] di potenza impegnata e 2700 kWh/anno di consumo.

**Tabella 13. Voci di costo complessivo di energia elettrica**

c€/kWh	Spesa per la materia energia		Spesa per il trasporto e la gestione del contatore	Spesa per oneri di sistema	Imposte	Totale
	Approvvigionamento energia	Commercializzazione al dettaglio				
I 2016	6,9060	1,5057	3,2977	4,6089	2,5197	18,8379
II 2016	6,0520	1,5117	3,2977	4,6086	2,4348	17,9048
III 2016	6,7640	1,5117	3,2977	4,5934	2,5045	18,6713
IV 2016	6,4900	1,5117	3,3427	4,6332	2,4856	18,4632
I 2017	6,7490	1,6365	3,9539	3,7942	2,5012	18,6348
II 2017	7,3960	1,6588	3,9539	3,6235	2,5510	19,1833
III 2017	7,8870	1,6588	3,9539	3,6235	2,6001	19,7234

**III trimestre 2017**  
**Prezzo lordo = 19,723 c€/K**



**Figura 17. Suddivisione del costo dell'energia elettrica**

Oggi giorno la tariffa elettrica nazionale per i clienti domestici presenta una caratteristica di progressività, cioè si ha un aumento del costo unitario del [kWh] all'aumentare dei consumi elettrici da parte dell'utente domestico. In particolare, dal 2007, le componenti del costo elettrico relative ai servizi di rete e agli oneri generali sono fortemente progressive all'aumentare dei consumi. Si mostra in Figura 17 un esempio dell'andamento di tali tariffe.

La struttura tariffaria attualmente in vigore è stata introdotta una quarantina di anni fa a seguito del cosiddetto "shock petrolifero" del 1973. Essa aveva uno scopo di carattere sia sociale sia di ottimizzazione dei consumi, ma era basato su un contesto del sistema elettrico completamente diverso da quello attuale e quindi non più riportabile ai giorni nostri. Questa forma di tariffazione è stata comunque essenziale per stimolare una razionalizzazione dei consumi domestici incentrata su usi elettrici ritenuti essenziali per il benessere della famiglie e anche per disincentivare gli sprechi di energia elettrica. In particolare, per ottenere tale razionalizzazione dell'energia, sono stati determinanti due elementi: la limitazione di potenza elettrica su un unico valore di riferimento (3 [kW]) per la quasi totalità degli utenti domestici e la struttura progressiva della tariffa elettrica, entrambi ancora oggi in vigore nel sistema italiano e poco diffusi all'estero.

La Figura 18 mostra graficamente il confronto tra le attuali tariffe D2-D3 e la futura tariffa unica D1 ipotizzata, evidenziando come:

- gli utenti residenti in D2 con prelievi annui non superiori a circa 3.500 [kWh] (intersezione delle due curve) risultano essere completamente sussidiati dagli utenti con consumi maggiori di tale limite;
- il sussidio maggiore viene riconosciuto alle famiglie con prelievi annui pari a 1.800 [kWh] (maggior distanza tra la curva verde e la curva blu).

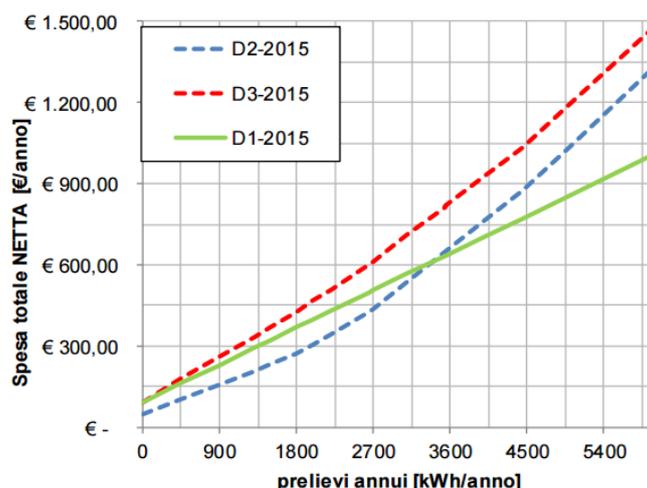


Figura 18. Spesa netta associata ai servizi di rete e oneri generali di sistema

Dove:

- D3 raggruppa le 7,6 milioni di famiglie NON-residenti e/o con una potenza installata maggiore di 3 kW;
- D2 raggruppa le 21,8 milioni di famiglie residenti con una potenza installata minore o uguale a 3 kW;
- D1 raggruppa tutte le 29,4 milioni di famiglie italiane.

## 3. Progetto Energy@Home

---

Dopo un'introduzione alle definizioni di smart metering, cos'è e come funziona, si illustra lo stato dell'arte in Europa ed Italia. Dopodiché si descrive il progetto Energy@Home, iniziando dall'associazione e passando poi attraverso gli obiettivi e le principali barriere per il raggiungimento degli stessi.

### 3.1 Lo smart metering

Con il termine smart metering si intende un sistema di misura centralizzato ed automatizzato attraverso il quale dispositivi intelligenti consentono di migliorare le prestazioni di misura al fine di realizzare efficienza energetica e garantire vantaggi per i consumatori finali.

Realizzare un sistema di smart metering significa quindi creare una rete intelligente attraverso la quale un sistema di misurazione evoluto ed efficiente è in grado di attuare automazioni, telecontrollo e telegestione dei contatori delle utenze.

Un sistema di smart metering si compone di:

1. contatori intelligenti, gli smart meters, che forniscono una misura affidabile
2. una rete di comunicazione intelligente
3. un sistema centrale intelligente in grado di raccogliere le informazioni provenienti dai misuratori, di validarle e di attivare i processi informatizzati di controllo delle utenze in remote ed infine, procedere alle emissioni delle bollette.

Lo smart meter è, quindi, un dispositivo intelligente basato su tecnologie di misura evolute, equipaggiato di un sistema integrato di comunicazione in grado di interfacciarsi con la rete di comunicazione e di trasmettere i dati in accordo con gli standard tecnici vigenti. Lo smart metering rappresenta una modernizzazione del Paese aprendo il mercato alle nuove tecnologie e offrire – a tutti gli attori della filiera – i vantaggi che ne derivano.

### 3.2 I benefici dello smart metering

“I contatori intelligenti rappresentano uno strumento per misurare in maniera affidabile e accurata i consumi energetici effettivi, fornendo anche informazioni sul reale tempo di utilizzo.

Questa tecnologia rende possibile la regolazione individuale dei consumi, la loro ottimizzazione e la razionalizzazione degli sprechi. I vantaggi per l'utente sono innegabili e si misurano appunto in termini di maggior trasparenza e valutazione puntuale ed immediata dei consumi.

Un altro vantaggio è dato dall'accuratezza del rilevamento: lo smart metering è un sistema più preciso di quello tradizionale, i consumi rilevati sono memorizzati e contabilizzati in base al tempo di utilizzo. Il contatore smart misura il consumo puntuale avvenuto in una certa ora di un certo giorno e lo memorizza, con lo scopo di rendere disponibile una curva di consumo storica per il cliente e di gestire una fatturazione basata su più tariffe, in base alle differenti fasce orarie.

I tre obiettivi principali che sono dunque:

- Efficienza energetica e riduzione dei consumi, attraverso informazioni aggiornate ai clienti, tali da consentire agli stessi di regolare il proprio consumo.
- Letture effettuate senza accesso alla proprietà, guasti ed anomalie segnalati in tempi rapidi.
- Spinta verso la liberalizzazione della vendita di energia, attraverso maggiori informazioni sui consumi e la possibilità di creare offerte mirate verso alcuni segmenti di clientela con profili di consumo specifici.
- Tutela dei clienti rispetto a una fatturazione equa, ed accurata, basata sul consumo effettivo



**Figura 19. Dispositivo smart metering**

### 3.3 Stato dell'arte dello smart metering in Europa e in Italia

Considerando il comparto dell'elettricità, i clienti finali in Europa sono 282 milioni in 16 stati membri, tra cui l'Italia. L'obiettivo a breve termine è l'introduzione su vasta scala di circa 160 milioni di smart meters. Altri 11 Stati membri hanno in corso valutazioni o introdurranno smart meters in modo più progressivo.



Figura 20. Contatori tradizionali

Per quanto riguarda il comparto gas sono 118 milioni i clienti e solo 6 stati, tra cui l'Italia, hanno deciso di introdurre 47 milioni di gas smart meters su vasta scala entro il 2020.

Per quanto riguarda l'Italia, il 100% dei clienti possiede un contatore intelligente di prima generazione per l'energia elettrica e da luglio 2016 Enel ha proceduto alla sostituzione con contatori di seconda generazione. Per quanto riguarda il gas l'80% dei 450.000 clienti commerciali e industriali possiede uno smart meter, mentre in ambito residenziale solo il 10% dei 21.5 milioni di utenti ne è dotato.

### 3.4 Associazione

Energy@home è un'associazione senza scopo di lucro che si propone di creare un contesto collaborativo per studiare, progettare e sperimentare nuovi servizi per la Smart Home con l'obiettivo di creare nuove opportunità di mercato tramite un "ecosistema aperto" in ambito residenziale che faccia leva sull'efficienza energetica e sulla sinergia tra i vari settori interessati. L'Associazione è stata fondata nel Luglio 2012 da 4 grandi imprese italiane (Electrolux, Enel Distribuzione, Indesit Company e Telecom Italia) con uno statuto aperto a nuovi associati e alla data attuale, conta 27 associati che coprono competenze del sistema elettrico, dell'industria degli elettrodomestici, delle telecomunicazioni, della ICT, del settore assicurativo, della micro-elettronica, della tecnologia degli inverter e dei sistemi di storage, della domotica, oltre che istituti di ricerca, piccole medie imprese italiane, e start-up nel settore IoT.

Energy@Home studia e promuove la Smart Home per fornire ai consumatori nuovi servizi e nuove funzionalità necessarie al monitoraggio e al controllo della propria smart home nonché dei propri consumi elettrici.

L'efficienza energetica intesa come l'insieme di tutti quei comportamenti, strumenti e tecniche che permettono di ridurre i consumi energetici senza impattare sul comfort degli utenti, è un pilastro fondamentale della Smart City, nonché la priorità indicata nella Strategia Energetica Nazionale e una delle misure segnalate per raggiungere crescita economica ed occupazionale. La trasformazione del sistema energetico in Italia e in Europa, necessaria per garantire la decarbonizzazione e la sicurezza energetica, richiede che la rete diventi più intelligente. In tale contesto, Energy@home si focalizza sul consumatore finale (inteso come smart prosumer: consumatore e produttore di energia elettrica), puntando a contribuire nel breve termine allo sviluppo di un mercato di servizi a valore aggiunto post-contatore. Servizi che consentano l'utilizzo efficiente dell'energia tramite un sistema che, comunicando in modo diretto con il contatore elettrico, possa rendere disponibili i dati del contatore medesimo agli elettrodomestici, all'utente finale e ai service provider.

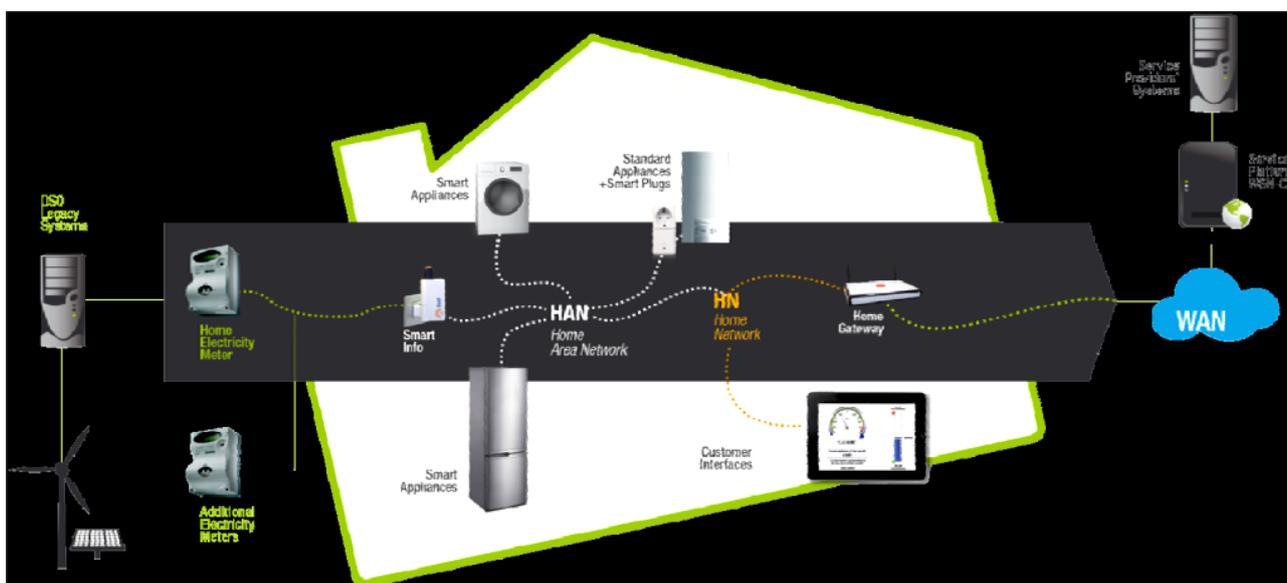


Figura 21. Sistema di comunicazione device e service provider

Nel medio termine, inoltre, Energy@Home punta a stimolare la creazione di un nuovo mercato, in altre parole, il consumatore avrà l'opportunità di modificare i propri consumi di energia elettrica, riducendoli o incrementandoli in modo sia automatico sia manuale, in base all'andamento del prezzo (orario o istantaneo) dell'energia e dell'eventuale propria produzione da fonte rinnovabile.

L'Associazione Energy@home si propone quindi di studiare, “promuovere, sviluppare e diffondere” soluzioni tecniche “per l'efficienza energetica nell'ambito domestico, per un più vantaggioso ed economico utilizzo degli elettrodomestici tramite nuove tecnologie di comunicazione”.

La comunicazione, infatti, permette a tali dispositivi di integrarsi in modo intelligente, riducendo gli sprechi, aumentando il grado di affidabilità e sicurezza del sistema energetico domestico e fornendo ai consumatori maggiori informazioni e potere di scelta. È quindi necessario un approccio multisetoriale e multidisciplinare, per progettare dispositivi intelligenti e capaci di comunicare fra di loro per ottimizzare il proprio funzionamento in modo coordinato.

### **3.5 Obiettivi del progetto Energy@Home**

Oggi giorno le utenze domestiche possono produrre parte dell'energia che consumano grazie alla generazione distribuita, in particolare al fotovoltaico ed hanno a disposizione devices efficaci per il monitoraggio dei consumi e per sapere quanto è vantaggioso prelevare dalla rete in un determinato momento della giornata.

In quest'ottica si potrebbe, attraverso la conoscenza dei propri consumi, proporre prezzi dinamici (dynamic prices) dell'energia elettrica:

- TOU (time o fuse)
- CPP (critical peak pricing)
- RTP (real time pricing)
- PTR (peak time rebate)

In letteratura viene evidenziato come questo comportamento possa portare al risparmio in bolletta dal 4 ÷ 15% . Tutto ciò facendo riferimento ai paesi Europei, adottanti la tecnologia dello smart metering. Per quanto riguarda Energy@Home, è stato sviluppato un dispositivo, Smart Info, il quale permette di acquisire in tempo reale direttamente dal contatore dati del consumo, produzione, potenza disponibile e fornire avvisi personalizzati in modo da segnalare prezzi dell'energia e disponibilità di energia autoprodotta.

Oltre alla riduzione dei consumi residenziali, ed i vantaggi economici che ne derivano, tra gli obiettivi finali, c'è anche quello di ridurre e contenere i picchi di potenza sulla rete elettrica

dovuti al settore residenziale e quello di assorbire meglio il comparto di generazione distribuita.

Quindi grazie all'uso dello smart metering ed ai contatori intelligenti (che comunicano i consumi ogni 15'-20'), che offrono la possibilità a produttori di poter variare il costo dell'energia più volte durante il giorno, si possono fornire nuove tariffazioni ai clienti, per incoraggiare la gestione delle domande da parte degli utenti finali.

### 3.6 Dynamic pricing and smart metering in Europa

Un sistema di tariffazione dinamica del prezzo fa sì che il costo dell'energia al cliente sia basato sui costi di fornitura nel momento in cui avviene il consumo.

Ciò avviene grazie ai nuovi contatori ed i dispositivi di smart metering. L'obiettivo europeo è quello di dotare entro il 2020 di questi sistemi, almeno l'80% dei consumatori europei. La tabella 14

**Tabella 14. Obiettivi Europei di sostituzione dei nuovi contatori per il 2020**

Estensione su larga scala (almeno 80% dei consumatori al 2020)	Metering points entro il 2020	Diffusione attesa in % al 2020	Numero totale di smart metering installati fino al 2020
Austria	570000	95	541500
Denmark	3280000	100	3280000
Estonia	709000	100	709000
Finland	3300000	100	3300000
France	35000000	95	33250000
Greece	7000000	80	5600000
Ireland	2200000	100	2200000
Italy	3670000	99	36333000
Luxembourg	260000	95	24700
Malta	260000	100	260000
Netherlands	7600000	100	7600000
Poland	1650000	80	13200000
Romania	9000000	80	72000000
Spain	27768528	100	27768528
Sweden	5200000	100	5200000
United Kingdom	3199200	99.5	31832040

mostra i paesi che hanno deciso di portare avanti il progetto entro al 2020, tra cui figura anche l'Italia, che tramite delibera AEEGSI, decise di metter in atto il piano e ha introdotto l'obbligo di adozione di contatori intelligenti dal 2011. In seguito, con il DL 4 Luglio 2014, n.102/2014, viene recepita l'ordinanza nazionale in tema di efficienza energetica ed introduce anche il tema della sostituzione dei misuratori esistenti, con una seconda generazione 2G.

L'AEEGSI, in seguito ha specificato le caratteristiche di tali dispositivi.

L'Italia attualmente è il paese leader in Europa nella ricerca sulla diffusione degli smart meters e sta pianificando l'installazione della seconda generazione di contatori, che dovrebbero assecondare i nuovi requisiti delle direttive europee in tema di efficienza energetica 2012/27/CE.

Il documento pubblicato dall'AEEGSI, dell'agosto del 2015, contiene le specifiche funzionali minime che dovrebbero possedere la seconda generazione di smart meters.

Tecnicamente è previsto un concentratore tra il sistema centrale di tele-gestione ed il contatore. La conversione contatore - concentratore, è soddisfatta tramite la trasmissione dati sulle elettriche in bassa tensione, con la modalità PLC(Power Line Carrier) a onde convogliate.

### 3.7 Analisi delle potenziali barriere per il dynamic pricing

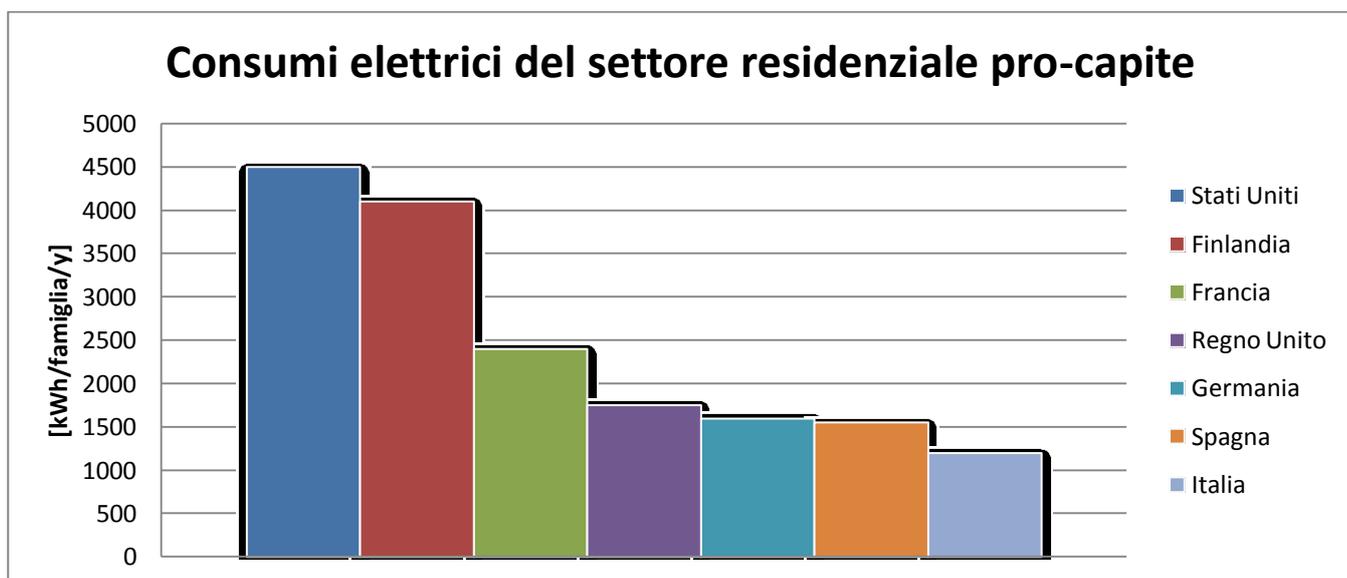
Attualmente i consumi elettrici nel settore residenziale rappresentano il 22% di quelli totali nazionali.

Tabella 15. Consumi residenziali sul totale

	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Consumi totali residenziali [TWh]</b>	69.5	70.1	69.4	66.9	64.2
<b>Consumi totali [TWh]</b>	309.9	313.8	307.2	297.3	291.1
<b>%residenziale/totale</b>	22.4	22.4	22.6	22.5	22.1

Nel grafico 3 invece sono rappresentati i consumi rispetto agli altri paesi.

Grafico 3. Consumi elettrici pro-capite



Prendendo come riferimento le circa 25milioni di famiglie in Italia, il consumo per nucleo familiare risulta circa 2700 kWh/famiglia/y.

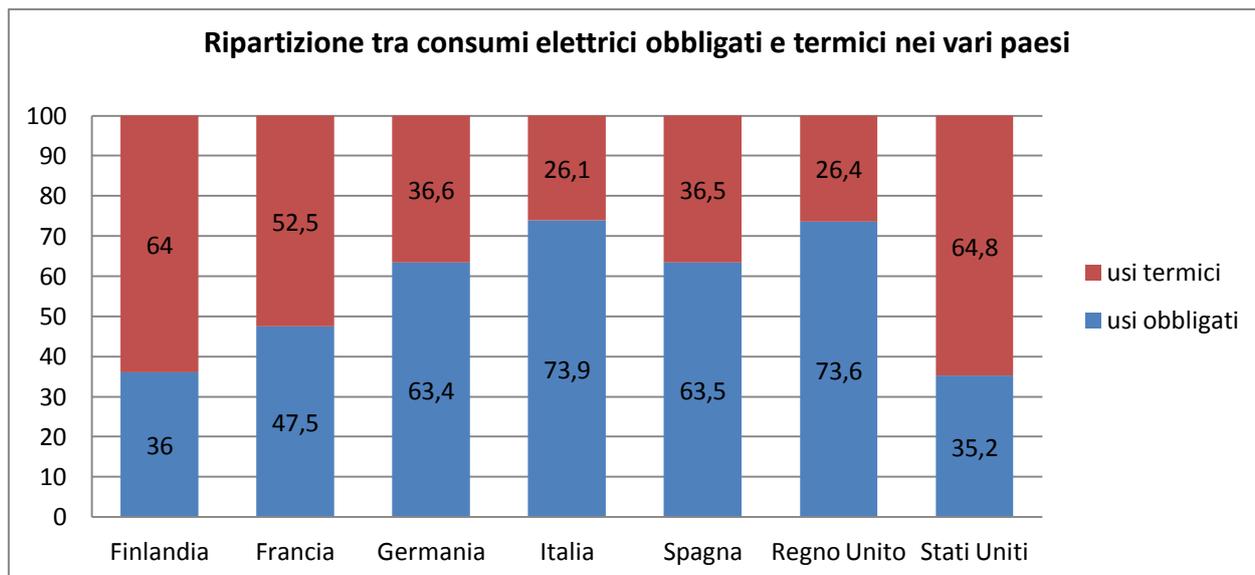
Un ulteriore aspetto da considerare è la differente ripartizione rispetto agli altri paesi rispetto alla destinazione finale d'uso di questo vettore energetico, distinguendo tra usi elettrici per servizi termici (riscaldamento, cottura, ACS) e dagli usi imprescindibili (illuminazione ed elettrodomestici).

La principale fonte di consumo riguarda la climatizzazione, poiché il riscaldamento è perlopiù soddisfatto dalla combustione dei combustibili fossili e la diffusione di impianti di climatizzazione estiva, seppur in crescita, è ancora limitata.

Dunque, nell'ottica attuale una considerazione evidente è che il margine di riduzione dei consumi di energia elettrica sia più risicato ai paesi come per esempio la Francia.

Il grafico 4, evidenzia bene la condizione di scarsa elettrificazione del settore residenziale rispetto ad altri paesi considerati. Questo è limitante nell'uso di tariffe dinamiche dovute al costante monitoraggio dei consumi con smart metering e quindi scarsamente incentivante.

**Grafico 4. Ripartizione tra i consumi per il termico nei vari paesi**



Diverso è il discorso per utenti non residenziali, come il settore terziario.

## 4. Smart Metering, linee guida e delibere AEEGSI

---

In questo capitolo si intendono spiegare i passi che sono stati fatti in materia di delibere e normative per l'introduzione dello smart metering. Viene inoltre illustrata la ricerca del gruppo del gruppo di lavoro incentivato da AEEG per lo studio delle tecnologie per la trasmissione dei dati, che ha coinvolto numerosi stakeholders.

### 4.1 Analisi e tecnologie di comunicazione dei dati nei sistemi di smart metering

Per regolamentare le applicazioni di smart metering, AGCOM, ha da tempo intrapreso una collaborazione con AEEG, disponendo un'indagine conoscitiva sulle tecnologie riguardanti i dispositivi ed i sensori di comunicazione M2M (machine to machine).

Con la delibera n.87/2016/R/EEL si sono definite le specifiche tecniche che dovrebbero interessare tali dispositivi per la misurazione in bassa tensione relativa ai sistemi di smart metering di seconda generazione (2G) nel settore elettrico, avendo lo scopo di sostituire i misuratori di prima generazione.

L'analisi delle caratteristiche tecnologiche di connessione dati tra smart meter e gestore ha evidenziato due tecnologie possibili:

- Wired
- Wireless

I sistemi wired usano tecnologia PLC (a banda stretta 150kHz) e potrebbero essere utilizzati nel caso di smart meter elettrici e sarebbero dunque un sistema di comunicazione semplice e poco costoso, in particolare per quanto riguarda l'interfaccia dispositivo-gestore.

L'interfaccia dispositivo utente, per la comunicazione, richiede l'uso di un protocollo di comunicazione ed è stato il CEI per lo studio.

In sistemi wireless (GSM,LTE etc) invece, che si basano su frequenze esclusive assegnate, offrono sicuramente prestazioni migliori.

Il gruppo di lavoro incaricato dell'analisi tecnologica che ha intrapreso lo studio, si è interfacciato anche con utility del settore energetico, acquisendo informazioni, documentazioni e posizioni a riguardo.

Gli stakeholders di cui sopra, sono tra gli altri

- Tim
- Vodafone
- Fastaweb
- Enel
- Anigas
- Utilitalia

## **4.2 La decisione dell'AEEGSI dell'8 marzo 2016**

Con la deliberazione dell'8 marzo 2016 n. 87/2016/R/EEL, che riguarda "*Specifiche funzionali abilitanti i misuratori intelligenti in bassa tensione e performance dei relativi sistemi di smart metering di seconda generazione (2G) nel settore elettrico, ai sensi del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102*" l'AEEGSI ha concluso il procedimento di cui alla consultazione pubblica precedentemente citata n. 416/15/R/EEL.

Il provvedimento definisce i requisiti funzionali o specifiche abilitanti della versione 2.0 del misuratore di energia elettrica in bassa tensione di seconda generazione (misuratore 2G). Per ciò che riguarda gli aspetti di comunicazione, il provvedimento distingue tra il canale di comunicazione da e verso l'impresa di distribuzione (la cosiddetta chain 1) per lo scambio dei dati di telelettura e telegestione con l'impresa di distribuzione e il canale di trasmissione dati ai dispositivi di utente (la cosiddetta chain 2).

Per la chain 1, l'AEEGSI prevede la disponibilità di due canali indipendenti con tecnologia scelta dall'impresa, sia wired sia wireless su banda licenziata o non licenziata, nel rispetto di alcuni vincoli per motivi di intercambiabilità in caso di passaggi di concessione tra imprese distributrici:

- nel caso di utilizzo di PLC lungo la catena di comunicazione chain 1: utilizzo di banda A con protocollo standard, unificato a livello nazionale;

- nel caso di utilizzo di banda non licenziata con radiofrequenza 169 MHz: protocollo a livello fisico rispondente a quanto stabilito per l'utilizzo di tale frequenza per lo smart metering gas;
- nel caso di altre tecnologie: utilizzo di reti tlc pubbliche o di protocolli standard disponibili sul mercato che garantiscano la possibilità di subentro di un'altra impresa distributrice alle medesime condizioni.

Per la chain 2, il provvedimento dispone la presenza di almeno un canale per la trasmissione dati dal misuratore al dispositivo utente specificando, nel caso venga utilizzata la tecnologia Power Line Communication (PLC), la banda di lavoro C. Viene inoltre disposta l'adozione di un protocollo di comunicazione standard, unificato a livello nazionale, tra misuratore e dispositivo.

Infine, il provvedimento delinea le funzionalità evolutive che potranno essere implementate nella successiva versione dei misuratori, denominata "versione 2.1". Per ciò che attiene agli aspetti di comunicazione, la versione 2.1 potrebbe essere caratterizzata da una delle seguenti soluzioni tecnologiche:

- soluzione wired con connettore fisico sicuro e alloggiamento separato in cui può essere riposto un dispositivo dell'utente oppure può essere collegato un cavo, inclusa fibra ottica;
- soluzione wireless con canale di trasmissione dati dal misuratore su banda licenziata o non licenziata, aggiuntivo almeno a quello richiesto per la chain 2.

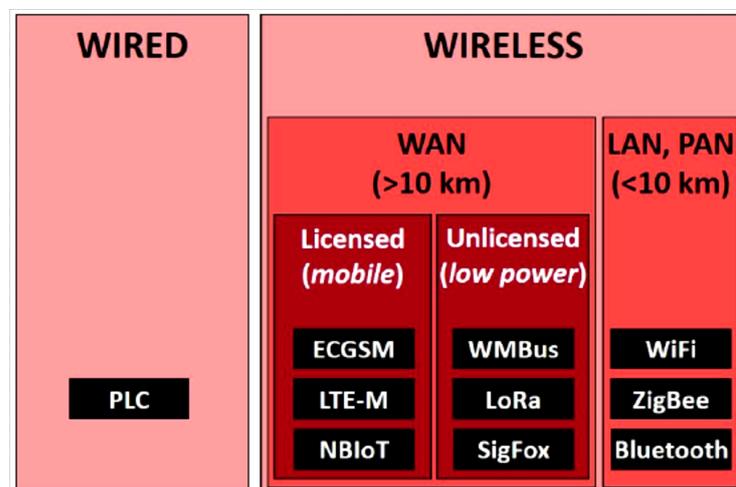


Figura 22. Soluzioni Wired e Wireless

### 4.3 Le filiere dell'energia elettrica

Prima della liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica la filiera si componeva in grandi fasi: generazione, trasmissione e dispacciamento, distribuzione (che includeva anche misura e vendita). Fino al 1999, Enel, in quanto monopolista statale di settore (escluse alcune aziende municipalizzate ed investitori minori), era responsabile della gestione dell'intera filiera elettrica. Con la liberalizzazione del sistema elettrico nazionale, parte della filiera è stata aperta all'ingresso di nuovi operatori, in particolare nelle attività di generazione e di vendita all'ingrosso ed al cliente finale. La trasmissione, il dispacciamento e la distribuzione presentano invece le caratteristiche di monopoli naturali e sono regolate da concessioni statali. Dopo il Decreto Bersani n° 79/99, la filiera dell'energia elettrica si è articolata in diverse fasi: le tre fasi infrastrutturali di generazione, trasmissione, dispacciamento e distribuzione, alle quali si aggiunge, dal punto di vista economico/commerciale, la fase di vendita all'ingrosso e al dettaglio.

**Tabella 16. Le fasi della filiera del mercato dell'elettricità**

<b>Generazione</b>	Le società di produzione si occupano della fase di generazione tramite la trasformazione delle fonti presenti in natura in energia elettrica. La generazione si compone a sua volta delle attività di approvvigionamento delle materie prime, trasformazione dell'energia primaria in energia elettrica, immissione dell'energia prodotta nella rete, costruzione e manutenzione degli impianti. Questa attività è stata liberalizzata e dal 1° Gennaio 2003 una società produttrice non può controllare più del 50% del mercato (energia elettrica generata e importata).
<b>Trasmissione e dispacciamento</b>	L'energia prodotta e venduta all'ingrosso viene trasportata, dalle società produttrici ai distributori locali, sulla rete nazionale ad alta-tensione gestita da Terna SpA che opera in monopolio per garantire la sicurezza e l'efficienza del sistema. In particolare, un aspetto critico di questa fase è di mantenere l'equilibrio tra domanda e offerta sul sistema elettrico nazionale, garantito dall'attività di dispacciamento svolta anch'essa da Terna.
<b>Distribuzione e misura</b>	Le società distributrici si occupano in primo luogo della trasformazione dell'energia elettrica da alta a media/bassa tensione e in secondo luogo della distribuzione fisica ai clienti finali. In parallelo a tali attività le società distributrici sono anche responsabili delle operazioni di allacciamento e del servizio di misura. Anche questa fase della filiera è un monopolio naturale a livello locale (e non nazionale come la trasmissione) e viene gestita, per ogni zona della rete, da un operatore unico ("impresa distributrice") secondo le regole determinate dall'AEEGSI. Gli operatori di distribuzione svolgono anche l'attività di misura dell'energia prelevata dalla rete.
<b>Vendita</b>	<b>Vendita all'ingrosso:</b> in questa fase le società produttrici vengono remunerate o tramite contratti bilaterali o tramite la vendita in borsa dell'energia. Infatti nel 2004 è stata attivata la borsa dell'energia elettrica (IPEX) con lo scopo di ridurre i costi delle transazioni e aumentare la trasparenza dei mercati. <b>Vendita al dettaglio:</b> le società di vendita gestiscono il rapporto con il cliente finale. Infatti queste ultime acquistano l'energia elettrica dalla borsa elettrica o direttamente dai produttori e gestiscono tutti gli aspetti commerciali ed amministrativi legati alla fornitura di energia elettrica. I clienti serviti dalla società di vendita si dividono in clienti "regolati", rimasti sul mercato tutelato, e clienti del mercato libero.

Fonte: AEEGSI

Il Distributore è responsabile dell'attività di distribuzione, connessione e misura nel territorio di cui è concessionario (la concessione ha carattere di esclusiva):

- la *distribuzione* è il servizio di trasformazione dell'energia elettrica e di trasporto sulle reti di media e bassa tensione per la consegna ai clienti;
- la *connessione* è il collegamento di un impianto elettrico ad una rete di distribuzione con la quale sussiste continuità circuitale;
- la *misura* è l'attività che comprende le operazioni organizzative, di elaborazione, informatiche e telematiche, finalizzate alla determinazione, alla rilevazione, alla messa a disposizione e all'archiviazione del dato di misura dell'energia elettrica immessa e prelevata dalle reti di distribuzione e trasmissione.

Il Distributore non vende più l'energia (né all'ingrosso né al dettaglio): l'attività di vendita di energia elettrica è un'attività libera, pertanto chiunque può operare nel mercato di Energia elettrica in qualità di Venditore del Mercato Libero (Trader).

Enel Distribuzione svolgeva il ruolo di distributore e di società di vendita per i clienti domestici e per i clienti non domestici non passati al Mercato Libero fino all'entrata in vigore della Legge n. 125 del 3 agosto 2007, che ha previsto che l'attività di distribuzione di energia elettrica (per le imprese distributrici le cui reti alimentavano almeno 100.000 clienti finali e che svolgevano l'attività di vendita di energia elettrica in forma integrata) dovesse essere svolta in regime di separazione societaria.

Pertanto, in seguito al processo di liberalizzazione del mercato elettrico, il Gruppo Enel SpA (a seguito di separazione societaria) comprende diverse società distinte, tra cui:

- Enel Distribuzione, è la società del gruppo Enel che si occupa di distribuire e misurare l'energia elettrica sulla rete in bassa e media tensione;
- Enel Energia è la società di vendita del gruppo Enel per i clienti del mercato libero;
- Enel Servizio Elettrico è la società di vendita del gruppo Enel per i clienti del mercato tutelato.

#### **4.4 Gli stakeholders, il punto di vista di Tim**

Telecom Italia, in qualità di operatore in Italia, può sfruttare la capillarità dei propri asset (centrali, armadi, distributori di rete fissa, stazioni radiobase della propria rete mobile), è in grado di pianificare, realizzare e gestire sia l'infrastruttura fisica trasmissiva, basata su soluzioni wireless a 169 MHz, per la raccolta dei dati di misura, che di supportare soluzioni chiavi in mano di smart metering, monoservizio e multiservizio.

L'infrastruttura di comunicazione è quindi il primo e principale nodo tecnologico da affrontare per lo sviluppo di soluzioni di smart metering e più in generale per abilitare le Smart Cities.

Telecom Italia propone la costruzione di una rete wireless di telecomunicazione per la rilevazione e il trasporto dei dati, che non entra nel merito dei dati trasmessi ma si limita solo a trasferire la misura dallo smart meter al distributore, il quale provvederà poi alle dovute elaborazioni.

Ciò consentirà dunque di estendere l'uso di tale rete ad altre applicazioni verticali che, nel tempo, rappresenteranno il cuore delle Smart Cities.

La rete capillare proposta da Telecom Italia si basa sull'utilizzo di concentratori che possano rilevare segnali a 169 Mhz, 868 Mhz o altre frequenze con cui si presentano di norma i meter o i sensori più diffusi. Tali concentratori, per garantire il miglior livello di copertura capillare dei meter e la massima efficienza economica possibile, potrebbero essere installati sugli asset già esistenti di Telecom Italia (stazioni radio base delle Reti 2G/3G/4G).

La rete, poi, è governata da un Network Manager che gestisce l'asset management dei concentratori, riceve e gestisce gli allarmi dai concentratori, effettua misure di prestazioni radio e di traffico, governa il Security management e, non entrando mai nel merito del flusso dati, gestisce il dispatching del dato verso l'utility specifica in funzione del meter che ha originato il dato (o verso il meter specifico in funzione della utility che ha generato una particolare disposizione, ad es. chiusura di una valvola).

# 5. Obiettivi del modello

---

Scopo di questo capitolo è quello di descrivere gli obiettivi da raggiungere ed i metodi utilizzati. Vengono dapprima elencati gli obiettivi e viene illustrata la metodologia seguita per la costruzione del modello di consumo elettrico.

A priori verranno date basi teoriche utili che sono state usate nello studio. Viene presentata la teoria della regressione lineare multipla, ed i parametri ad esse collegati. Si introduce la regressione con coefficienti standardizzati ed i test statistici F e t.

## 5.1 Regressione lineare semplice

E' il caso più semplice nonché comune di regressione. Ci si riferisce per esempio al caso in cui si vogliono rappresentare consumi Y in funzione di un certo energy driver X. Se si assume che Y sia una variabile casuale (i valori che assume risentono di una certa variabilità, non sono deterministici), mentre consideriamo X come variabile deterministica (nota senza incertezza, o al limite con un'incertezza trascurabile rispetto a quella da cui è affetta Y).

E' intuitivo che a parità di valore dell'energy driver (cioè dato  $X = x$ ), il valore del consumo Y non sarà sempre lo stesso, perché:

- Vi sono altri fattori che influenzano il consumo;
- I valori di Y sono misurati con un certo errore;
- Nei fenomeni reali vi è un elemento imprevedibile di casualità.

Per queste ragioni nell'esprimere la relazione che lega Y a X occorre aggiungere una componente d'errore, la variabile casuale  $\varepsilon$ , che tenga conto di tutti quei fattori non spiegati da X.

A livello di popolazione, il modello di regressione lineare semplice è dunque:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Dove il termine  $\beta_0 + \beta_1 X$  rappresenta il valore atteso di Y dato X ed è chiamato retta di regressione.

## 5.2 Analisi di regressione

Una volta ottenuta una stima dei parametri della retta di regressione, è fondamentale valutare l'attendibilità dell'equazione trovata, cioè rispetto all'intera popolazione da cui sono stati estratti. Infatti si vuole che un modello di caratterizzazione non sia solo in grado di descrivere una relazione verificatasi nel passato, ma anche e soprattutto che possa essere utilizzato per prevedere i consumi futuri in corrispondenza di determinati valori dell'energy driver.

A questo scopo occorre calcolare e giudicare i p-value associati alla significatività di un coefficiente angolare ed intercetta. Le statistiche test comunemente utilizzate si basano su determinate distribuzioni di probabilità dei parametri incogniti  $\beta_1$  e  $\beta_0$  che valgono a patto che siano rispettate le seguenti assunzioni sui residui  $\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$ : i residui sono variabili casuali

- Normalmente distribuiti
- Con media uguale a zero
- Con identica varianza
- Non correlate

Il coefficiente angolare della retta  $b_1$  è una misura di quanto la variabile Y dipenda in maniera lineare dalla X, cioè dalla loro correlazione. Esso è stato calcolato sulla base dei dati disponibili ed è una stima del corrispondente parametro della popolazione  $\beta_1$  (incognito); si noti che i valori di  $b_1$  calcolati a partire da insiemi di dati diversi forniscono, in generale, diverse stime del parametro  $\beta_1$ , che sarà sempre incognito.

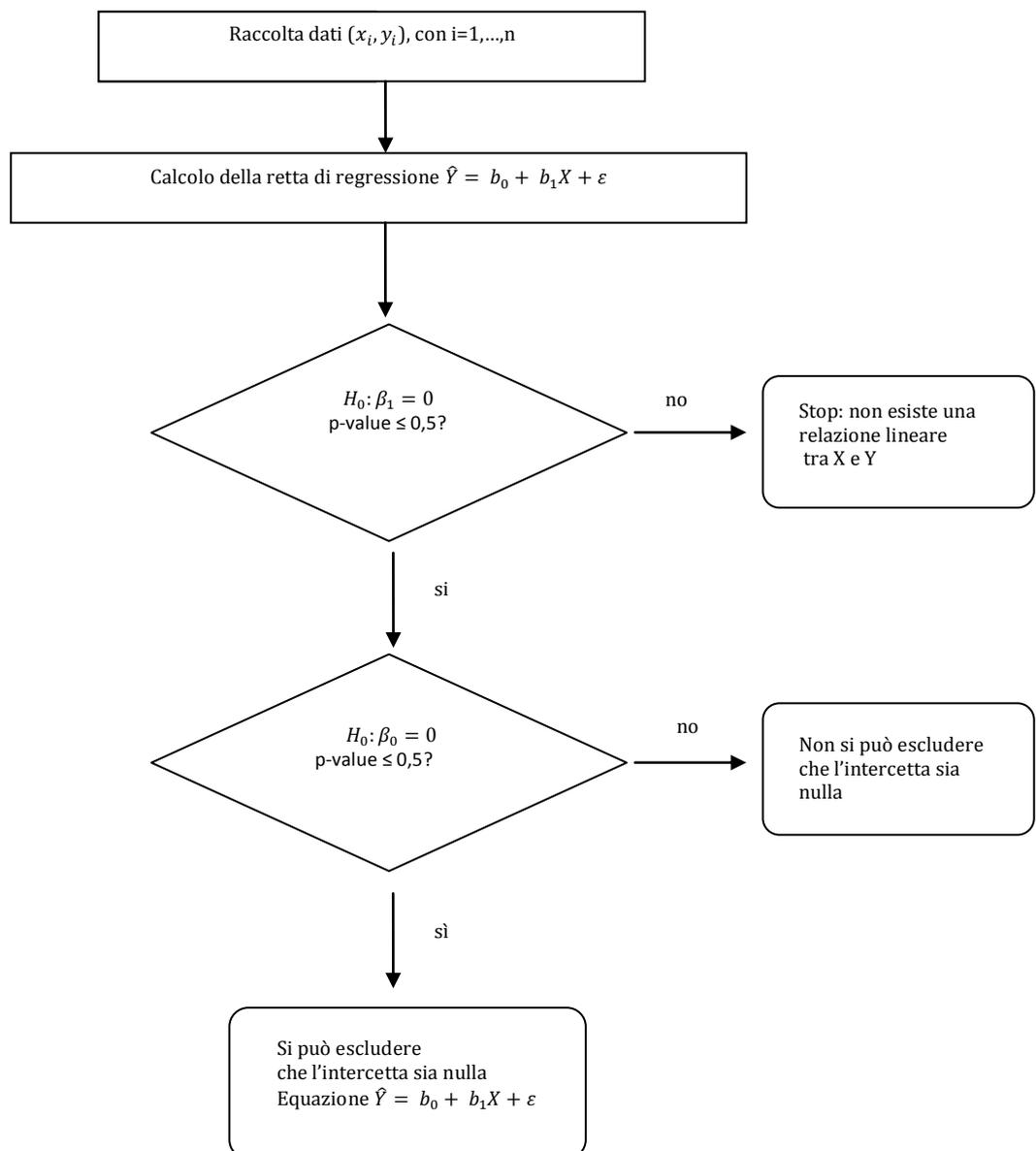
Il problema che ci si pone è quello di valutare se, sulla base del valore di  $b_1$  ottenuto, il coefficiente angolare  $\beta_1$  possa essere ritenuto significativamente diverso da zero.

Per valutare la significatività del coefficiente angolare si calcola il p-value associato all'ipotesi nulla  $H_0: \beta_1 = 0$  contro l'ipotesi alternativa  $H_0: \beta_1 \neq 0$ . Nel caso in cui il p-value sia piccolo, si rifiuta l'ipotesi nulla, perché è molto improbabile che essa sia vera ed è quindi improbabile che l'equazione stimata sia una coincidenza, dovuta al particolare campionamento. Più il p-value è basso e più è remota la possibilità di aver ottenuto un elevato valore di  $b_1$  in corrispondenza di un basso  $\beta_1$ . Nella pratica, il parametro  $\beta_1$  viene ritenuto significativamente diverso da zero (cioè rifiutata l'ipotesi nulla) se  $p\text{-value} \leq 0.05$ . In caso contrario non si può rifiutare l'ipotesi nulla.

Rifiutare (non rifiutare l'ipotesi) nulla  $H_0: \beta_1 = 0$  ha una forte implicazione pratica: significa ammettere l'esistenza (non esistenza) di una relazione lineare tra le variabili X e Y. In Particolare, rifiutare l'ipotesi nulla  $H_0: \beta_1 = 0$  significa affermare che la risposta dell'esperimento Y è effettivamente influenzata dalla variabile indipendente X, e che quindi è corretta includerla nel modello.

Se in un modello  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$  l'ipotesi nulla  $\beta_0 = 0$  non può essere rifiutata (cioè se il p-value associato alla significatività dell'intercetta è maggiore della soglia fissata es. 5%), allora questa è un'indicazione che l'interpolazione può essere migliorata, con un modello senza intercetta.

La procedura è la seguente:



### 5.3 Regressione lineare multipla

Sono due i motivi per cui si può ricorrere a una regressione lineare multipla:

1. Si vuole trovare un'equazione che permetta una miglior modellizzazione della variabile  $Y$  rispetto a quello che consente di fare un'equazione in funzione di una sola variabile indipendente  $X$ ;
2. Si vuole esplorare la relazione esistente tra la  $Y$  e più potenziali variabili indipendenti  $X$  per individuare quali variabili  $X$  influenzano significativamente la  $Y$ .

La regressione lineare multipla è uno strumento potente, ma può essere di difficile interpretazione. Un primo problema è che i risultati sono difficili da visualizzare graficamente. Un altro problema è che è necessario che gli  $u$  regressori siano linearmente indipendenti, cioè che nessuno sia una combinazione lineare degli altri.

La regressione lineare multipla può essere molto utile quando, nel caso di misura congiunta dei consumi, si vogliono distinguere i diversi contributi.

A livello di popolazione il modello di regressione lineare multipla è:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_u X_u + \varepsilon$$

Dove:

- $\beta_0$  indica l'intercetta;
- $\beta_1, \dots, \beta_k$  indica i coefficienti di regressione parziale;
- $\varepsilon$  indica l'errore statistico.

Quindi  $b_0$  rappresenta la costante del modello e  $b_1, \dots, b_k$ , essendo i coefficienti angolari delle rispettive variabili  $X_1, \dots, X_k$ , indicano quanto varia il valore di  $Y$  quando  $X_j$  varia in modo unitario. L'errore va a rappresentare il termine residuo che tiene conto della differenza tra il modello riprodotto e la reale misura.

Essendo una regressione lineare multipla, il modello non andrà a riprodurre una semplice retta come nel caso di due sole variabili, ma bensì esso può essere rappresentato dal cosiddetto piano di regressione, in figura 23.

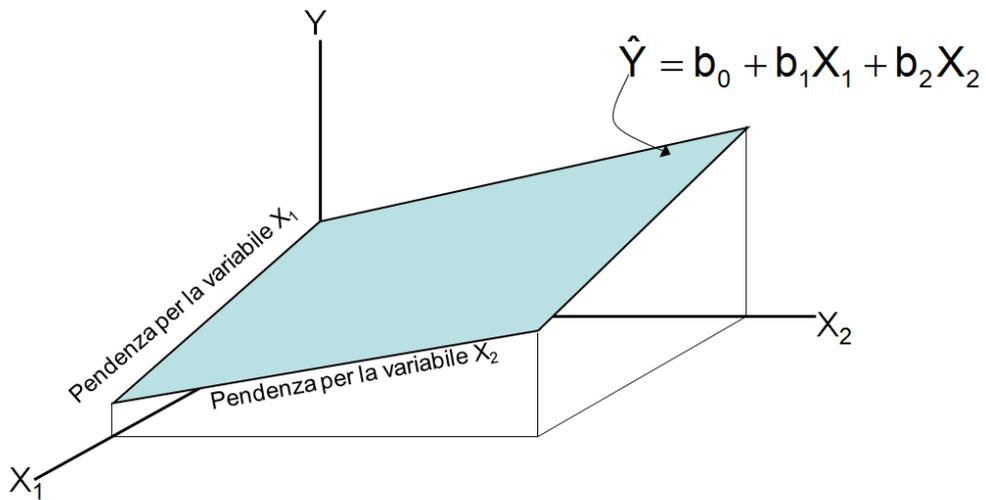


Figura 23. Piano di regressione per un modello a tre variabili

Per la costruzione del modello si ricorre alla condizione dei minimi quadrati:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \text{minimo}$$

Dove  $e_i^2$  indica i residui e viene calcolato come:

$$e_i^2 = (Y_i - \hat{Y}_i)$$

Dove:

- $Y_i$  è il valore della variabile dipendente osservato;
- $\hat{Y}_i$  è il valore della variabile dipendente calcolata dal modello.

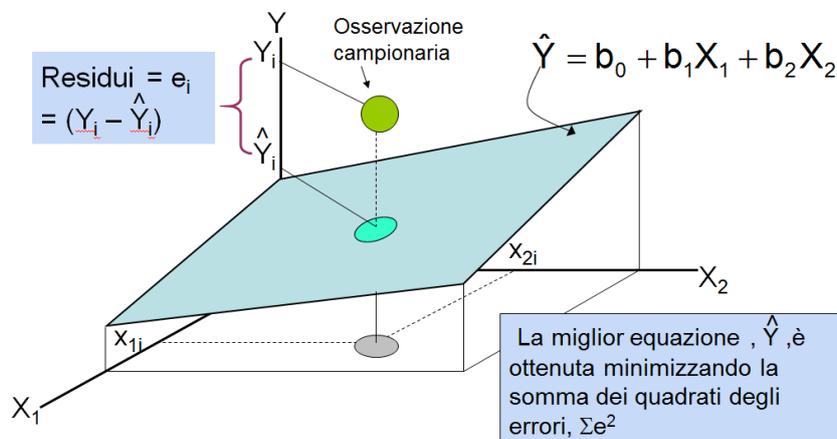


Figura 24. Rappresentazione dei residui

In particolare nel caso in esame si vuole stabilire il tipo di funzione che lega la variabile indipendente consumo elettrico a quelle indipendenti, temperatura esterna, numero di componenti della famiglia ed irraggiamento solare.

Nel caso di specie avremo:

- $b_1$  che misura l'effetto parziale della differenza di temperatura sui consumi energetici, mantenendo costante l'irradiazione solare;
- $b_2$  che misura l'effetto parziale del delta di irradiazione solare sui consumi energetici, mantenendo costante la differenza di temperatura.

Sono inoltre state verificate le seguenti condizioni per dell'utilizzo del modello di regressione multipla:

- Il campione di utenze è rappresentativo;
- La variabile dipendente (consumi energetici) è affetta da errore e le variabili indipendenti sono supposte deterministiche;
- Basso grado di multicollinearità tra variabili indipendenti;
- Gli errori presentano una distribuzione gaussiana (normale).

Quando alcune delle potenziali variabili X sono correlate tra loro si parla di multicollinearità. La presenza della multicollinearità ha numerosi effetti negativi: diminuisce la precisione delle stime puntuali dei coefficienti, gli intervalli di fiducia si allargano, i p-value possono essere non significativi, etc etc. inoltre, se due variabili sono strettamente correlate fra loro, è molto difficile distinguere il contributo dell'una e dell'altra alla determinazione di Y, per cui il modello risultante rischia di essere più complicato e con un contributo informativo non superiore rispetto al modello che include una sola variabile delle due X. Il più semplice rimedio alla multicollinearità è allora l'eliminazione di una delle variabili correlate.

## 5.4 Analisi di regressione

Dopo aver determinato i coefficienti, bisogna valutarne la significatività e bisogna indagare sull'eventuale presenza di multicollinearità.

Innanzitutto, per ogni variabile,  $X_j$  si esamina il p-value associato all'ipotesi nulla:  $H_0: \beta_j = 0$  contro l'ipotesi alternativa  $H_1: \beta_j \neq 0$ . Ogni p-value tiene conto dell'effetto della j-esima

variabile, dato l'effetto di tutte le altre presenti; per una variabile, avere un basso p-value significa avere una buona capacità esplicativa sulla Y.

Indicativamente riteniamo condizione necessaria per includere nel modello la generica variabile X1 che il suo p-value sia inferiore a 0.05.

## 5.5 Verifica multicollinearità

La multicollinearità indica il grado di dipendenza lineare tra due variabili indipendenti. Per verificare se esiste un grado di multicollinearità troppo elevato tra le diverse variabili indipendenti sono necessarie alcune verifiche.

Si definisce X la matrice delle variabili indipendenti; si ha un grado di multicollinearità inaccettabile nel caso in cui il determinante della matrice X'X (dove X' indica la trasposta della matrice X) sia prossimo o pari a zero.

Un altro parametro valutato per l'individuazione della multicollinearità è il fattore di crescita della varianza VIF (variance inflation factor). Il suo valore è calcolato come:

$$VIF = \frac{1}{1 - r_j^2}$$

Dove  $r_j^2$  è il coefficiente di correlazione multipla tra la variabile indipendente j e le altre variabili indipendenti.

Un valore di VIF pari ad 1 indica che non è presente alcun tipo di multicollinearità. Tipicamente si stabilisce un valore limite di VIF=10 oltre il quale la multicollinearità assume un grado troppo elevato.

Nel caso di specie sono stati effettuati due diversi controlli per il caso termico ed il caso elettrico per verificare il grado di multicollinearità tra temperatura media giornaliera esterna ed irradiazione solare media giornaliera.

Nel caso elettrico il coefficiente di correlazione tra i due parametri assume un valore pari a  $r_j^2 = 0.7565$  per cui:

$$VIF = \frac{1}{1 - r_j^2} = 2.3378 \ll 10$$

Non è per cui presente un grado di multicollinearità troppo elevato.

## 5.6 Regressione lineare multipla a variabili standardizzate

Per valutare il reale peso delle variabili indipendenti  $X_1, X_2, \dots, X_n$  è necessario confrontare i coefficienti di regressione parziale. Tali coefficienti vanno però standardizzati visto che nella maggior parte dei casi le variabili indipendenti hanno unità di misura diversa dalla variabile dipendente  $Y$ . E' necessario trasformare i coefficienti angolari in numeri puri e questo è ottenibile attraverso un modello a variabili standardizzate:

$$Z = \text{Beta}_1 * Z_1 + \text{Beta}_2 * Z_2 + e$$

Dove:

- $\text{Beta}_1, \text{Beta}_2$  indicano i coefficienti standardizzati;
- $Z_1, Z_2$  indicano le variabili  $X_1, X_2$  standardizzate.

Per standardizzare le variabili è necessario utilizzare la seguente formula:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_X}$$

Dove:

- $X_i$  è il valore della variabile normale;
- $\bar{X}_i$  è il valore medio della variabile normale;
- $\sigma_X$  è la deviazione standard della variabile normale.

In questo modo attraverso il confronto tra i due  $Beta$  è possibile valutare la variabile indipendente che fornisce il contributo più elevato; quindi la variabile indipendente con coefficiente  $Beta$  maggiore avrà maggior peso rispetto alle altre[30].

Si può inoltre valutare il peso percentuale di ogni variabile grazie alla scomposizione del coefficiente di determinazione multipla:

$$R_Y^2 = \text{Beta}_1 * r_1 + \text{Beta}_2 * r_2$$

Dove:

- $Beta_1, Beta_2$  indicano i coefficienti standardizzati;
- $r_1, r_2$  indicano i coefficienti di correlazione diretta tra variabili indipendenti e variabile dipendente.

Quindi il peso percentuale della rispettiva variabile indipendente  $X_n$  sarà dato da:

$$\% X_n = \frac{Beta_n * r_n}{R_Y^2}$$

Si ricorda che il coefficiente di correlazione  $r_n$  varia tra -1 e +1 e può fornire le seguenti informazioni:

- ha segno positivo quando le due variabili correlate aumentano o diminuiscono allo stesso tempo;
- ha segno negativo quando all'aumentare di variabile l'altra diminuisce e viceversa.

Il suo valore assoluto indica inoltre la forza della relazione lineare tra le due variabili in esame: più si avvicina al valore 1 e migliore è la relazione lineare. La sua formula matematica è:

$$r = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X * \sigma_Y}$$

Dove:

- $\sigma_{X,Y}$  è la covarianza tra X e Y;
- $\sigma_Y$  e  $\sigma_X$  sono rispettivamente le deviazioni standard di Y e X.

Il valore di  $R^2$  può variare tra 0 e 1 e può essere ritenuto la misura dell'adattamento del piano di regressione. Questo significa che più tale valore si avvicina ad 1 migliore sarà l'adattamento del modello creato. Se per esempio  $R^2$  assume un valore di 0,56 significa che il modello di regressione trovato spiega il 56% della variabilità di Y.

## 5.7 Test statistici di verifica

Tali test vengono utilizzati per verificare la significatività statistica dei risultati ottenuti. Per introdurre i test statistici di ipotesi è necessario definire il cosiddetto p-value. Il p-value è un valore utilizzato in statistica per indicare il minimo livello di significatività per il quale l'ipotesi nulla viene rifiutata (descritta nel paragrafo successivo). Un test si può definire statisticamente significativo quando il suo p-value assume un valore minore o uguale a 0,05.

## 5.8 Test statistico F

Il Test F è un test di ipotesi che può essere effettuato sul modello di regressione totale per verificare la sua significatività statistica globale. Esso è fondato sul rapporto tra la varianza del modello e la varianza residua e mostra se c'è un rapporto lineare tra le variabili indipendenti  $X_i$  e la variabile indipendente  $Y$ .

Esistono due ipotesi:

- $H_0$  (ipotesi nulla):  $b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$  (non è presente alcuna relazione lineare);
- $H_1$ : esiste un  $b_i \neq 0$  (almeno una variabile indipendente  $X_i$  influenza  $Y$ );

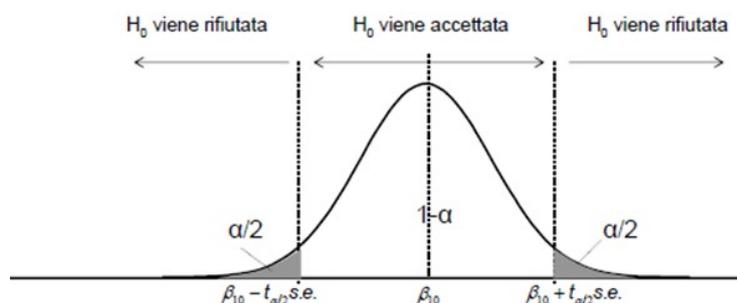


Figura 25. Rappresentazione regioni di rifiuto test d'ipotesi

Perché il modello sia valido ci si deve trovare nella zona di rifiuto di  $H_0$  (vedasi Figura 25). Nel caso di specie se il p-value osservato è minore del p-value teorico (0,05) il modello utilizzato evidenzia che almeno una delle variabili indipendenti influenza in modo significativo la variabile dipendente  $Y$  (ci si trova nella zona di rifiuto e si può rifiutare l'ipotesi nulla).

## 5.9 Test statistico t

Il Test t viene effettuato su ognuno dei singoli coefficienti di regressione lineare e serve a valutare la significatività statistica di ciascuna variabile all'interno di un modello. Esso verifica se esiste o meno una relazione lineare tra le variabili  $X_i$  e la variabile  $Y$ .

Esistono due ipotesi:

- $H_0$  (ipotesi nulla):  $b_i = 0$  (non è presente alcuna relazione lineare);
- $H_1$ :  $b_i \neq 0$  (esiste una relazione lineare tra la variabile indipendente  $X_i$  e  $Y$ );

Anche in questo caso se il p-value osservato è minore del p-value teorico (0,05) si può rifiutare l'ipotesi nulla e quindi esiste una relazione lineare tra la variabile indipendente  $X_i$  e la variabile  $Y$ . Tramite questo test si può controllare se ogni variabile indipendente  $X_j$  ha un effetto reale sul modello calcolato.

## 5.10 Analisi delle 3 quote di consumo

Per valutare i consumi elettrici di ogni utente, si è cercato di validare come le variabili climatiche influenzino i consumi. Dunque si è andato a considerare la quota dovuta alla temperatura, all'irraggiamento solare ed una quota fissa di consumi.

Tale quota comprende i consumi elettrici che costituiscono il carico di base, ovvero dovuti ad apparecchi elettrici collegati in modo permanente. Non c'è quindi variabilità rispetto ai fattori climatici.

Il valore di questa quota, è stato ipotizzato con il valore di consumo elettrico nel mese di Agosto, per cui si pensa che sia il periodo in cui gran parte della popolazione prenda le ferie estive e si rechi in villeggiatura.

Per quanto riguarda la quota dovuta alla temperatura esterna, si può dire che questa, sia legata alla variazione di temperatura esterna dei soli mesi invernali, o comunque riguardante il periodo di riscaldamento. Questo perché parte dei consumi sarà sicuramente legata ai dispositivi di riscaldamento, pompe di calore, ed ai boiler per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

Infine la quota legata all'irraggiamento solare cerca di valutare la variazione annuale dei consumi legati all'illuminazione artificiale, tenendo conto così della variazione dei consumi legati alla variazione del numero di ore durante il giorno. Sicuramente questa variazione avrà

luogo durante l'anno, poiché l'irraggiamento solare nei mesi invernali risulta inferiore, mentre da marzo ad ottobre le ore di luce sono maggiori. La quota tenderà a coprire solo la variazione del numero di ore di sole e non la quota completa dell'illuminazione artificiale.

Rispetto a quest'ultimo caso, occorre notare che a causa della normativa europea per la sostituzione delle lampadine ad incandescenza con quelle a basso consumo del 2009 (Regolamento (CE) n. 244/2009), è stato sicuramente ridotto il consumo di energia riguardante la quota dovuta all'illuminazione artificiale, divenendo meno apprezzabile.

## 6. Dati disponibili

---

Lo scopo di questo capitolo è quello di illustrare i passaggi che sono stati fatti per la costruzione del modello, partendo dalle descrizioni dei dati disponibili. I dati di partenza forniti sono consumi cumulati adimensionali ottenuti dai misuratori analogico/digitali installati (smart meter) e direttamente proporzionali al valore vero di energia consumata [kWh]. I dati riguardano 28 utenti campione, a cui è stato installato il dispositivo per il monitoraggio dei consumi del progetto Energy@Home e pervenuti in forma di tabella e salvati su file Excel.

### 6.1 Dati utenze

Per ogni utente esiste una panoramica delle caratteristiche che sono state riassunte in un estratto della tabella 17 di cui sotto. In Appendice A la tabella completa.

In particolare ciò che li contraddistingue è:

- Data creazione del servizio
- Comune
- Provincia
- Numero di componenti della famiglia
- Potenza installata del contatore
- Presenza impianto fotovoltaico
- Apparecchiature monitorate
- Data inizio e fine del monitoraggio
- Id utente

Tabella 17. Caratteristiche utenti

ID	Domain	Comune	Provincia	NC	P [kW]	PV	ID	Name	Data Start	Data End
6	ENERGY @HOME	Villar dora	Torino	3	3	No	1	Contatore	01/12/2014	30/04/2016
							2	Lavatrice	05/02/2015	30/04/2016
							3	TV	05/02/2015	14/06/2015
							4	Zona PC	-	-
							49		-	-
103	ENERGY @HOME	Castelplanio	Ancona	4	6	Si	60		-	-
							9	forno	01/12/2014	22/09/2016
							37	frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							7	lavatrice	01/12/2014	22/09/2016
							11	macchina caffè	01/12/2014	22/09/2016
							10	PC	01/12/2014	22/09/2016
							6	smart info fotovoltaico	01/12/2014	22/09/2016
							5	smart info scambio	01/12/2014	22/09/2016
121	ENERGY @HOME	Nichelino	Torino	4	3	No	50		-	-
							12	0121 Contatore	-	-
							17	Forno	17/03/2015	22/09/2016
							16	Frigorifero	17/03/2015	22/09/2016
							15	Lavastoviglie	28/04/2015	22/09/2016
							13	Lavatrice	17/03/2015	06/03/2016
							69	PC	-	-
							14	TV + Stb Sky	17/03/2015	22/09/2016
11	ENERGY @HOME	Gorgonzola	Milano			No	62		-	-
							18	Forno	03/06/2015	22/09/2016
							22	Frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							21	Lavastoviglie	03/06/2015	22/09/2016
							24	Lavatrice	03/06/2015	22/09/2016
							20	Sala Giochi	03/06/2015	22/09/2016
							23	SmartInfo	03/06/2015	22/09/2016
19	Zona TV	08/06/2015	22/09/2016							
102	ENERGY @HOME	Olgiate Olona	Varese	3	4,5	No	61		-	-
							32	Compressor e	07/06/2015	15/09/2016
							30	Contatore Enel	03/06/2015	22/09/2016
							31	Ferro da stiro	03/06/2015	22/09/2016
							34	Forno	03/06/2015	22/09/2016
							36	Frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							33	Lavastoviglie	03/06/2015	22/09/2016

Come si può notare non c'è stata uniformità tra la fine e l'inizio del progetto di misura dei consumi. Anche gli apparecchi considerati sono svariati, si passa dai classici elettrodomestici fino al monitoraggio dei consumi di macchine da caffè, cantinette per il vino etc etc.

Altro parametro da considerare è anche la potenza contrattuale non è in tutti i casi quella standard di 3 [kW], ma si osserva come la potenza possa anche essere 4,5 o 6 [kW].

Inoltre si registra il fatto che alcune utenze sono fornite di impianto fotovoltaico ed è stato installato un dispositivo di misura anche sul contatore di scambio.

Le utenze che fanno parte del progetto sono sparse nel Nord e Centro Italia ed appartengono rispettivamente alle fasce climatiche elencate nella tabella 18 sottostante. Ad eccezione di Casteplanio in provincia di Ancona, la cui zona climatica di appartenenza è la E, ovvero quella per cui è gradi giorno (GG) sono compresi nell'intervallo 2101 – 3000 GG.

I gradi giorno (GG) sono un parametro empirico utilizzato per il calcolo del fabbisogno termico di un edificio e rappresentano la somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente riscaldato (convenzionalmente 20°C) e la temperatura media esterna; la differenza viene conteggiata solo se positiva.

$$GG = \sum_t (T_{ri} - T_e)$$

Dove

$T_{ri} = 20^\circ\text{C}$  è la temperatura di riferimento interna

$T_e$  = temperatura media esterna

Questa grandezza è indice della stagione in cui ci si trova ciò potrebbe far aumentare i consumi nel caso esistano apparecchi elettrici per il riscaldamento invernale. Inoltre durante il periodo invernale si ha una diminuzione delle ore di luce, con conseguente aumento dei consumi nella quota parte riguardante l'illuminazione.

Tabella18. Zone climatiche utenze

Località	Zona climatica	Gradi giorno	Altitudine
Caluso	E	2808	303
Castelplanio	D	2113	305
Civitanova marche	E	1643	3
Olgiate olona	E	2879	239
Peschiera Borromeo	E	2404	101
Pordenone	E	2459	24
Villardora	E	2904	367

Figura 26. Zone climatiche utenze



Gli utenti si caratterizzano dalla disomogeneità con cui sono stati installati i dispositivi dello smart metering.

Per ogni caso di studio, ovvero di abitazione in cui sono installati i dispositivi di misura, è fornita una tabella in un file excel, in cui erano presenti:

- Time
- Cumulative consumption [Wh]
- Real date
- Delta consumption [kWh]

Un esempio di come si presentavano le letture è riportato nella tabella 19.

La prima colonna rappresenta l'istante di tempo in cui è stata rilevata la misura ed è espressa sottoforma di unix time, ovvero un progressivo di numeri che rappresentano i secondi a partire dal 1 Gennaio 1970.

Attraverso la seguente formula

$$RealDate = ((UnixTime/1000/3600 + 1) / 24) + 25569$$

Dove 25569 rappresenta il 1 gennaio 1970

è stata ricavata la terza colonna, Real Date, che rappresenta di fatto la data reale in cui è stata rilevata la misura. Da notare che ogni misura è rilevata in un intervallo di tempo che va dai 120" ai 180".

I consumi invece sono sottoforma di cumulata, ovvero di misure di energia che si aggiungo alla misura precedente, espressa in [Wh]. Di conseguenza per ricavare il consumo di energia elettrica compreso nell'intervallo di tempo che intercorre tra le due misure, è stata semplicemente fatta la differenza tra il valore all'istante x+1 e la misura all'istante x precedente.

## 6.2 Selezione degli utenti

Osservando i dati a disposizione, si evince come i dispositivi di smart metering non siano stati installati mantenendo uno standard per tutte le utenze. Questo è stato uno dei motivi principali per cui si è reso necessario scartare alcuni utenti piuttosto che altri. Un altro dato da evidenziare è che il monitoraggio dei consumi non era uniforme tra tutte le utenze, bensì in

intervalli di tempo differenti. Inoltre le misure poco accurate, spesso erano affette da buchi nei periodi di misura e da indici di grandezza differenti, nonostante le rilevazioni siano a distanza di pochi minuti una dall'altra.

Tabella 19. Misure dei consumi fornite per ogni utente

Time [UnixTime]	Cumulative Consumption [Wh]	Real Date	Delta Consumption [kWh]
1,42317E+12	162123	05/02/2015 22:33	-
1,42317E+12	162124	05/02/2015 22:35	1,00E-03
1,42317E+12	162126	05/02/2015 22:37	2,00E-03
1,42317E+12	162132	05/02/2015 22:42	6,00E-03
1,42317E+12	162135	05/02/2015 22:44	3,00E-03
1,42317E+12	162137	05/02/2015 22:46	2,00E-03
1,42317E+12	162139	05/02/2015 22:48	2,00E-03
1,42317E+12	162140	05/02/2015 22:50	1,00E-03
1,42317E+12	162148	05/02/2015 22:58	8,00E-03
1,42317E+12	162150	05/02/2015 23:00	2,00E-03
1,42317E+12	162152	05/02/2015 23:02	2,00E-03
1,42317E+12	162155	05/02/2015 23:04	3,00E-03
1,42317E+12	162157	05/02/2015 23:06	2,00E-03
1,42317E+12	162159	05/02/2015 23:08	2,00E-03
1,42317E+12	162161	05/02/2015 23:10	2,00E-03
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:12	1,00E-03
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:14	0,00E+00
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:16	0,00E+00
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:18	0,00E+00
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:20	0,00E+00
1,42317E+12	162162	05/02/2015 23:22	0,00E+00
1,42318E+12	162162	05/02/2015 23:24	0,00E+00
1,42318E+12	162162	05/02/2015 23:26	0,00E+00
1,42318E+12	162162	05/02/2015 23:28	0,00E+00
1,42318E+12	162162	05/02/2015 23:30	0,00E+00
1,42318E+12	162162	05/02/2015 23:32	0,00E+00

Al fine di ottenere un modello dei consumi si è dovuto scartare ogni utente che non avesse il dispositivo di smart metering installato sul contatore, questo per avere una panoramica completa dei consumi elettrici giornalieri. Indubbiamente avere un dispositivo su ogni apparecchiatura elettronica presente nell'abitazione avrebbe fatto sì che si potesse distinguere un consumo preciso per quanto riguarda l'illuminazione e che quindi avrebbe avuto una correlazione più diretta con l'irraggiamento solare. Delle 28 misure a disposizione

sono state scartate quelle degli utenti che non avessero un monitoraggio dei consumi totali e quelli le cui misure risultavano incomplete.

Gli utenti considerati sono stati dunque solamente 7. Nella tabella 20 sottostante sono elencate le caratteristiche di ognuno.

**Tabella 20. Caratteristiche utenti utili per i modelli**

Utente	Comune	Provincia	Household composition	Power [kW]	PV	ID	Name	Data Start	Data End
6	Villar Dora	Torino	3	3	No	1	Contatore	01/12/2014	30/04/2016
						2	Lavatrice	05/02/2015	30/04/2016
						3	TV	05/02/2015	14/06/2015
						4	Zona PC	-	-
						49		-	-
103	Castelplanio	Ancona	4	6	Si	60		-	-
						9	forno	01/12/2014	22/09/2016
						37	frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
						7	lavatrice	01/12/2014	22/09/2016
						11	macchina caffè	01/12/2014	22/09/2016
						10	PC	01/12/2014	22/09/2016
						6	smart info fotovoltaico	01/12/2014	22/09/2016
						5	smart info scambio	01/12/2014	22/09/2016
102	Olgiate Olona	Varese	3	4,5	No	61		-	-
						32	Compressore	07/06/2015	15/09/2016
						30	Contatore Enel	03/06/2015	22/09/2016
						31	Ferro da stiro	03/06/2015	22/09/2016
						34	Forno	03/06/2015	22/09/2016
						36	Frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
						33	Lavastoviglie	03/06/2015	22/09/2016
						35	Televisione ed altro	03/06/2015	15/09/2016
126	Caluso	Torino	5	4,5	No	29	Whitegood 1	05/11/2015	15/09/2016
						63		-	-
						64		-	-
						65		-	-
						67		-	-
						41	Congelatore	10/06/2015	06/01/2016
						39	Contatore Enel	06/06/2015	22/09/2016
						40	Lavastoviglie	-	-
42	Pordenone	Pordenone	2	6	Si	38	Lavatrice	06/06/2015	07/06/2015
						94		-	-
						89	Casa Arigo	19/10/2015	22/09/2016
						83	Dish Washer	09/03/2016	22/09/2016

						91	Fridge	19/10/2015	22/09/2016
						84	FV Meter	19/10/2015	22/09/2016
						86	Marmony heater	-	-
						91	Meter Scambio immeso	19/10/2015	22/09/2016
						92	Meter Scambio consumato	19/10/2015	22/09/2016
						90	MyDairy	-	-
						88	Oven	19/10/2015	22/09/2016
						93	TV Set	19/10/2015	08/09/2016
						85	WM AEG	19/10/2015	22/09/2016
						87	WM Indesit Aqualtis	19/10/2015	22/09/2016
<b>137</b>	Civitanova Marche	Ancona	6	3	No	189		-	-
						152	Computer	20/10/2015	22/09/2016
						153	Contatore Enel	20/10/2015	22/09/2016
						148	Depuratore acqua	20/10/2015	22/09/2016
						150	Forno	30/10/2015	22/09/2016
						155	Frigorifero	20/10/2015	22/09/2016
						154	Lavastoviglie	20/10/2015	22/09/2016
						146	Lavatrice	15/11/2015	22/09/2016
						149	Ponte 2	20/10/2015	22/09/2016
						151	TV-WII	20/10/2015	22/09/2016
						147	Ventilazione	20/10/2015	22/09/2016
<b>152</b>	Peschiera Borromeo	Milano	3	3	No	215		-	-
						132	Aqualtis	20/10/2015	22/09/2016
						134	Asciugabiancheria Solarex	20/10/2015	22/09/2016
						135	Cantinetta	20/10/2015	22/09/2016
						131	Enel	23/10/2015	03/09/2016
						130	Forno	23/10/2015	22/09/2016
						129	Macchina Caffè	20/10/2015	22/09/2016
						133	Sistema AV	20/10/2015	22/09/2016

### 6.3 Apparecchiature considerate

L'obiettivo è quello di fare un confronto ed un'analisi statistica uniforme tra tutti i campioni, ma a causa del fatto che non tutti i dispositivi elettronici erano monitorati, si è preferito utilizzare soltanto i dati rilevati al contatore in quanto forniscono una misura completa. Si ricorda che i dati si presentavano sottoforma di consumi adimensionali, ma direttamente proporzionali attraverso un coefficiente, ai consumi cumulati.

### 6.3.1 Energia consumata

Non avendo perciò a disposizione le misure reali, si sono considerati i consumi adimensionali, con l'idea che fossero rappresentativi dei consumi cumulati effettivi di energia.

A questo punto per il calcolo dell'energia giornaliera consumata, è stata fatta la differenza tra il valore cumulato alle 23:58 del giorno  $x+1$  e l'energia cumulata del giorno  $x$ .

Per colmare i buchi e gli errori presenti, sono stati implementate due semplici istruzioni in Excel che confrontassero l'ordine di grandezza del dato rilevato alla lettura precedente ( $x-1$ ) con quello del dato  $x$  ed incrementato dell'ordine di grandezza esatto nel caso in cui la misura fosse stata sbagliata. È stata utilizzata l'istruzione SE, di seguito le formulazioni utilizzate per correggere l'ordine di grandezza.

#### Individuazione dell'errore

`SE(B11<B10;1;SE(B11<B9;1;SE(B11<B8;1;SE(B11<B7;1;SE(B11<B6;1;SE(B11<B5;1;SE(B11<B4;1;SE(B11<B3;1;0))))))))`

Viene eseguito un semplice confronto tra le celle precedenti a quella considerata. Si imposta 0 se la misura è corretta, 1 se è stato rilevato un errore di misura.

#### Correzione ordine di grandezza

`=SE(B10>(10^14);B10;SE(B10>(10^13);B10*10;SE(B10>(10^12);B10*100;SE(B10>(10^11);B10*1000;B10*10000))))`

In questa formulazione viene invece fatto un confronto con l'unità di misura della cella considerata e quella delle celle precedenti e corretto con il valore esatto. Questo perché nell'intervallo di tempo che intercorre tra le due rilevazioni è impossibile che ci sia un incremento di 2 - 3 unità di misura.

Sistemati i dati si è pensato di considerare come periodo base per il modello, quello giornaliero in quanto si avrebbero dati troppo fitti e con variazioni minime nell'intervallo di tempo che intercorre tra una misura e l'altra.

Dunque per ogni utente sono state eliminate le misure superflue e mantenute solamente quelle rilevate alle 23:58 di ogni giorno. In tal modo si è riusciti a trovare facilmente un valore rappresentativo adimensionale del consumo di energia giornaliera.

Per quanto riguarda i buchi presenti, si è pensato di interpolare i dati prendendo come incremento quello giornaliero ed il periodo di tempo considerato, utilizzando la funzione *interp1* di Matlab. Così facendo sono state colmate tutte le misure e si è ottenuto per ogni giorno dell'anno un valore di energia cumulata. La funzione utilizzata

$$V_q = \text{interp1}(x, v, x_q)$$

restituisce valori interpolati di una funzione 1D in punti di query specifici utilizzando l'interpolazione lineare. Il vettore *x* contiene i punti di esempio ed il vettore *v* i valori corrispondenti,  $v(x)$ . Il vettore  $x_q$  contiene le coordinate dei punti della query.

Nello caso specifico, dopo aver letto i valori dai file Excel, sono state separate le variabili, giorni (vettore *x*), energia cumulata (vettore *y*) ed intervallo di tempo (vettore *t*). Di seguito è stata implementata l'istruzione nel caso dell'utente 6, situato a Villar Dora (To).

```
x = num1(1:267,3);  
y = num1(1:267,4);  
t = [42007:1:42370];  
cum = interp1(x, y, t, 'linear');
```

## 6.4 Interpolazione lineare

Una volta ottenuti i dati completi si è passato alla raccolta delle informazioni riguardanti le 3 variabili che si è deciso rappresentassero il modello, temperatura, numero di componenti della famiglia ed irraggiamento.

### 6.4.1 Temperatura

Considerando che i consumi elettrici sono stati calcolati su base giornaliera, si sono altresì cercati i dati di temperatura media giornaliera per ogni località considerata.

Il sito [www.ilmeteo.it](http://www.ilmeteo.it) si è dimostrato molto utile a tal scopo, in quanto fornito di un ricco database, anche se non è stato possibile ottenere i dati di ogni località, sicuramente perché non presenti le centraline di misurazione.

I dati scaricati oltre a temperatura media, minima e massima, espressi in [°C], erano completi anche di osservazioni riguardanti gli eventuali fenomeni atmosferici, ovvero se in quel giorno

fosse presente nebbia, pioggia o se la giornata risultasse soleggiata. Ciò si è reso particolarmente utile in quanto ha permesso un confronto con i dati sull'irraggiamento solare.

Un esempio di come si presentavano i dati raccolti, nel caso specifico, il comune di Villar Dora i primi dieci giorni di Dicembre, è mostrato nella tabella sottostante.

**Tabella 21. Dati metereologici comune Villar Dora**

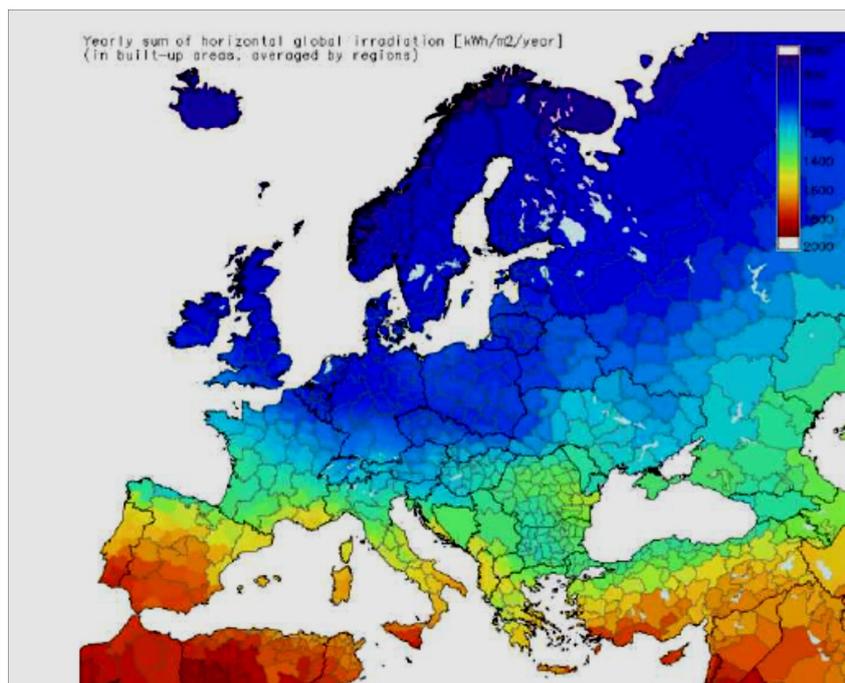
LOCALITA	DATA	TMEDIA Â°C	TMIN Â°C	TMAX Â°C	FENOMENI
Villar Dora	01/12/2015	7	0	15	
Villar Dora	02/12/2015	5	1	12	
Villar Dora	03/12/2015	4	-3	11	nebbia
Villar Dora	04/12/2015	2	-3	9	temporale nebbia
Villar Dora	05/12/2015	4	1	8	nebbia
Villar Dora	06/12/2015	4	-1	7	nebbia
Villar Dora	07/12/2015	6	3	9	pioggia
Villar Dora	08/12/2015	6	3	11	nebbia
Villar Dora	09/12/2015	3	0	6	nebbia
Villar Dora	10/12/2015	3	-1	10	temporale nebbia

#### 6.4.2 Irraggiamento solare

L'irraggiamento (H) è l'energia per unità di area proveniente direttamente oppure indirettamente dal sole e si misura in [kWh/m<sup>2</sup>] o in [MJ/m<sup>2</sup>].

$$H = \int_{sunrise}^{sunset} G dt$$

Dove G [W/m<sup>2</sup>] è la radiazione solare, ovvero la potenza per unità di area che arriva direttamente oppure indirettamente dal sole.



**Figura 27. Irraggiamento solare sull'Europa**

L'irraggiamento solare giornaliero sulla Terra è molto variabile (da 0 a 10- 12 kWh/m<sup>2</sup> giorno sull'orizzontale). In un anno una superficie orizzontale di 1 m<sup>2</sup> viene raggiunta da circa 1300 kWh a Torino, 1500 a Roma e 1600 a Catania. Su una superficie orientata in modo ottimale (Sud, 30-40° di inclinazione rispetto all'orizzontale) l'energia diviene rispettivamente pari a 1500, 1700 e 1800 kWh.

La raccolta delle informazioni che riguardano l'irraggiamento solare si è dimostrata più complicata poiché sono dati meno comuni e di più difficile misurazione.

Attraverso il sito dell' ENEA - Grande Progetto Solare Termodinamico, si è potuto calcolare la radiazione solare globale giornaliera media mensile (Rggmm) su superficie orizzontale inserendo le coordinate con Google Maps.

Si ottenevano però soltanto le medie mensili, tabella 22.

Utilizzando il sito dell'arpa delle varie regioni, la piattaforma SIRMIP ONLINE della regione Marche ed un programma java, meteoweb, si sono potuti estrapolare i dati medi giornalieri dell'irraggiamento solare.

Da notare che anche le temperature e l'irraggiamento solare, così come per le cumulate di energia elettrica, erano affette da buchi nelle misure e si è dunque reso necessario implementare un'interpolazione lineare per colmarli.



Figura 28. Irraggiamento solare sull'Italia

Tabella 22. Irraggiamento medio mensile

Mese	Ostacolo	Rggmm su sup.orizz.	U.misura
Gennaio	assente	1,94	kWh/m <sup>2</sup>
Febbraio	assente	2,68	kWh/m <sup>2</sup>
Marzo	assente	3,79	kWh/m <sup>2</sup>
Aprile	assente	4,8	kWh/m <sup>2</sup>
Maggio	assente	5,85	kWh/m <sup>2</sup>
Giugno	assente	6,43	kWh/m <sup>2</sup>
Luglio	assente	6,32	kWh/m <sup>2</sup>
Agosto	assente	5,46	kWh/m <sup>2</sup>
Settembre	assente	4,23	kWh/m <sup>2</sup>
Ottobre	assente	3,04	kWh/m <sup>2</sup>
Novembre	assente	2,01	kWh/m <sup>2</sup>
Dicembre	assente	1,57	kWh/m <sup>2</sup>

## 6.5 Cicli di carico

Sono stati presi in considerazione vari periodi dell'anno per cercare di avere una certa similitudine nel comportamento degli utenti.

Per far ciò è stata costruita una tabella in cui per il periodo considerato, è stato indicato se il giorno è feriale o festivo. Queste informazioni sono state ricavate prendendo in esame i calendari scolastici regionali delle località nel periodo delle misurazioni e le feste patronali, quelle nazionali e le festività religiose.

In particolare si è indicato con 1 gg (feriale/festivo) e con 0 gg (feriale/festivo). Di seguito un esempio di come è stata organizzata la tabella per il mese di Giugno.

Tabella 23. Giorni festivi e feriali nel mese di Giugno

gg excel	calendario	Villar Dora	Caluso	Castel Planio	Olgiate Olona	Peschiera Borromeo	Pordenone	Civitanova Marche
42156	lunedì 1 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42157	martedì 2 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42158	mercoledì 3 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42159	giovedì 4 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42160	venerdì 5 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42161	sabato 6 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
42162	domenica 7 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
42163	lunedì 8 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42164	martedì 9 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42165	mercoledì 10 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42166	giovedì 11 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42167	venerdì 12 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42168	sabato 13 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
42169	domenica 14 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
42170	lunedì 15 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42171	martedì 16 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
42172	mercoledì 17 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1

<b>42173</b>	giovedì 18 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42174</b>	venerdì 19 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42175</b>	sabato 20 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
<b>42176</b>	domenica 21 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
<b>42177</b>	lunedì 22 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42178</b>	martedì 23 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42179</b>	mercoledì 24 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42180</b>	giovedì 25 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42181</b>	venerdì 26 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42182</b>	sabato 27 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
<b>42183</b>	domenica 28 giugno 2015	0	0	0	0	0	0	0
<b>42184</b>	lunedì 29 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1
<b>42185</b>	martedì 30 giugno 2015	1	1	1	1	1	1	1

Distinguendo tra giorni feriali e festivi, plottando i consumi misurati e quelli del modello, si andranno a distinguere i profili di carico delle utenze durante la settimana e nei weekend.

La tabella 24 mostra il riassunto delle informazioni riguardanti le tre variabili del modello durante il periodo del progetto.

ID	Nc	Localita'	P [kW]		giu-15	lug-15	ago-15	set-15	ott-15	nov-15	dic-15	gen-16	feb-16	mar-16	apr-16	mag-16	giu-16	lug-16	ago-16	set-16			
6	3	Villar Dora	3	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	22	22			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	9	10	9	8	
				ls,m	6,1	6,1	5,1	3,9	2,7	1,78	1,28	1,6	2,5	3,8	4,8	5,4	6,1	6,1	5,1	3,9			
				Tm	21,9	25,8	23,0	17,7	12,6	8,1	4,6	3,7	6,2	8,7	13,7	16,0	20,6	24,1	23,3	20,8			
103	4	Castel Planio	6	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	23	22			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	8	8			
				ls,m	6,5	6,45	5,45	4,21	2,86	1,75	1,31	1,62	2,51	3,73	4,92	5,93	6,5	6,45	5,45	4,21			
				Tm	21,4	27,1	23,1	18,6	13,1	10,0	7,4	6,0	8,2	7,5	13,7	15,5	20,3	24,5	22,0	18,7			
102	3	Olgiate Olona	4,5	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	23	2			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	8	28			
				ls,m	6,31	6,26	5,37	4	2,63	1,69	1,23	1,52	2,42	3,74	4,79	5,69	6,31	6,26	5,37	4			
				Tm	23,5	28,1	24,5	19,4	13,6	8,9	5,1	3,9	6,9	9,9	15,4	17,4	22,0	25,6	24,1	22,1			
126	5	Caluso	4,5	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	23	22			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	8	8			
				ls,m	6,35	6,32	5,36	4	2,71	1,79	1,27	1,56	2,5	3,79	4,84	5,72	6,35	6,32	5,36	4			
				Tm	21,9	25,8	23,0	17,7	12,6	8,1	4,6	3,7	6,2	8,7	13,7	16,0	20,6	24,1	23,3	20,8			
42	2	Pordenone	6	gg feriali	22	23	21	21	22	21	20	20	18	22	20	22	21	21	23	21			
				gg festivi	8	8	10	9	9	9	11	11	11	9	10	9	9	10	8	9			
				ls,m	6,14	6,19	5,27	3,95	2,56	1,6	1,14	1,51	2,34	3,58	4,59	5,6	6,14	6,19	5,27	3,95			
				Tm	24,1	28,6	26,6	20,4	15,0	9,0	5,9	3,8	7,7	10,5	15,6	18,3	23,4	25,5	24,4	22,6			
137	6	Civitanova Marche	3	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	22	22			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	9	8			
				ls,m	6,52	6,49	5,5	4,3	2,96	1,81	1,35	1,7	2,54	3,75	4,91	6,01	6,52	6,49	5,5	4,3			
				Tm	22,0	26,9	24,1	21,3	14,6	10,6	6,5	6,3	9,9	10,0	13,7	17,2	21,6	23,4	23,2	20,9			
152	3	Peschiera Borromeo	3	gg feriali	22	23	21	22	22	21	20	20	21	22	20	22	21	21	23	22			
				gg festivi	8	8	10	8	9	9	11	11	8	9	10	9	9	10	8	8			
				ls,m	6,38	6,39	5,45	4,07	2,63	1,68	1,19	1,54	2,39	3,76	4,9	5,8	6,38	6,39	5,45	4,07			
				Tm	23,5	28,1	24,5	19,4	13,6	8,9	5,1	3,9	6,9	9,9	15,4	17,4	22,0	25,6	24,1	22,1			

Tabella 24. Grandezze significative delle utenze considerate

## 6.6 Modello

Al fine di costruire i modelli previsionali dei consumi finali di energia per ogni località, si è considerato il metodo della regressione lineare multipla, già discusso in precedenza. Dalla letteratura, si è notato come si preferisca un approccio simile, rispetto per esempio all'uso di reti neurali, in quanto attraverso la scelta ponderata di variabili indipendenti, si riesce a raggiungere un buon risultato.

Ci si è chiesti a questo punto quali sono le variabili che influenzano i consumi elettrici di una famiglia tipo. Il consumo di energia elettrica dipende innanzi tutto del numero di componenti della famiglia (lavatrice, ferro da stiro, tv, computer ed illuminazione). È chiaro come ci sia un'evidente proporzionalità tra [kWh] consumati e  $N_c$ .

Un altro fattore che influenza i consumi è la temperatura esterna. Sempre più famiglie durante il periodo estivo utilizzano condizionatori per il raffrescamento degli ambienti. Inoltre durante il periodo invernale, le ore di luce ridotte rendono necessario un maggior uso dell'illuminazione.

Un'altra variabile è l'irraggiamento solare che influenza per la maggior parte i consumi per illuminazione.

Una considerazione su questa variabile utilizzata nella regressione lineare multipla, è che mentre prima l'illuminazione domestica era soddisfatta per lo più con l'utilizzo di lampadine ad incandescenza, che sono state vietate dal 1 settembre 2012, ed erano responsabili di una quota maggiore di consumi, oggi con l'avvento delle lampade al led, la quota di energia consumata sul totale si è notevolmente ridotta, facendo sì che questa variabile abbia scarso peso nel modello di regressione lineare.

Per ricavare il modello è stato utilizzato il programma di calcolo Matlab.

Prendendo come riferimento l'utente 6, in Villar Dora, si riporta lo script che ha permesso di ricavare il modello e successivamente verranno spiegati i passaggi eseguiti.

```

clc
clearvars
close all

% LETTURA FILE EXCEL

jump = 0;
if(~jump)
    filename = 'villardora.xlsx';
    sheet1 = 'Foglio1';
    rangein = 'A2:D268';
    [num1, txt1, raw1] = xlsread(filename, sheet1, rangein);
else
    load('villardora.mat')
end

%INTERPOLAZIONE LINEARE PER COLMARE BUCHI

x = num1(1:267,3);
y = num1(1:267,4);
t = [42007:1:42370];
cum = interp1(x, y, t, 'linear');

%CALCOLO DEI CONSUMI GIORNALIERI

for i= 1:363

    c(i) = cum(i+1)-cum(i);

end

cons = c'/1000;

%REGRESSIONE LINEARE (SINGOLE VARIABILI & INSIEME DELLE 3 VARIABILI)

[num2, txt2, raw2] = xlsread('villardora.xlsx', 'Foglio2', 'A2:M365');

xt = num2(1:364, 4);
yt = num2(1:364, 3);
md_t = fitlm(xt,yt)
com_t = md_t.Coefficients.Estimate

xnc = num2(1:364, 5);
ync = num2(1:364, 3);
md_nc = fitlm(xnc,ync)
com_nc = md_nc.Coefficients.Estimate

xir = num2(1:364, 6);
yir = num2(1:364, 3);
md_ir = fitlm(xir,yir)
com_ir = md_ir.Coefficients.Estimate

x6 = num2(1:363, 4:6);
y6 = num2(1:363,3);
md6 = fitlm(x6,y6)
com6 = md6.Coefficients.Estimate

[num3, txt3, raw3] = xlsread('villardora.xlsx', 'Foglio2', 'A2:M364');

```

```

%settimana 33 e 34 a cavallo di ferragosto
x = num3(1:363, 1);
x_33_34 = num3(220:233, 1);

ym = num3(1:363, 3);
ym_33_34 = num3(220:233, 3);

yc = num3(1:363, 12);
yc_33_34 = num3(220:233, 12);

figure(1)
x=1:size(ym,1);
plot(x,ym,'ok')
hold on
plot(x,yc,'b')
plot(x,ym,'r')
grid
limitiy = get(gca, 'ylim');
set(gca, 'ylim', [0 limitiy(1,2)])
legend('Misurati', 'Calcolati')
title('Confronto consumi misurati Vs. modello')
xlabel('Giorni anno')
ylabel('Consumi [kWh]')
hold off

%GRAFICI SETTIMANALI

% COSTRUISCO IL GRAFICO ANNUALE DEI CONSUMI MEDI DELLA SETTIMANA

[num4, txt4, raw4] = xlsread('villardora.xlsx', 'media_settimana', 'G2:L51');

ym_media_sett = num4(:,2);
yc_media_sett = num4(:,6);

figure(2)
x_media_sett = 12:7:361;
plot(x_media_sett,ym_media_sett,'ok')
hold on
plot(x_media_sett,yc_media_sett,'b')
plot(x_media_sett,ym_media_sett,'r')
grid
limitiy_media_sett = get(gca, 'ylim');
set(gca, 'ylim', [0 limitiy_media_sett(1,2)])
legend('misurati', 'calcolati')
title('Confronto consumi medi settimanali')
xlabel('Giorni anno')
ylabel('Consumi [kWh]')
hold off

figure(3)
x_33_34=1:size(ym_33_34,1);
plot(x_33_34,ym_33_34,'ok')
hold on
plot(x_33_34,yc_33_34,'b')
plot(x_33_34,ym_33_34,'r')
grid
limitiy33_34 = get(gca, 'ylim');
set(gca, 'ylim', [0 limitiy33_34(1,2)])

```

```

legend('Misurati','Calcolati')
title('Confronto consumi misurati Vs. modello')
xlabel('Giorni settimane 33-34')
ylabel('Consumi [kWh]')
hold off

%PARTE DI STATISTICA

%DEVIAZIONE STANDARD

x6t = x6(1:363,1);
x6nc = x6(1:363,2);
x6irr= x6(1:363,3);

S_x6t = std(x6t)
S_x6nc = std(x6nc)
S_x6irr = std(x6irr)

S_yc = std(yc)

%COEFFICIENTI BETA STANDARDIZZATI

beta_t = S_x6t/S_yc
beta_nc = S_x6nc/S_yc
beta_irr = S_x6irr/S_yc

%MEDIA DELLE VARIABILI

m_x6t = mean(x6t);
m_x6nc = mean(x6nc);
m_x6irr = mean(x6irr);

%CALCOLO DELLE VARIBILI STANDARDIZZATE

Zt = (x6t-m_x6t)/S_x6t;
Znc = (x6nc-m_x6nc)/S_x6nc;
Zirr = (x6irr-m_x6irr)/S_x6irr;

%PESO PERCENTUALE DELLE VARIABILI

bt = com6(2,1)
bnc = com6(3,1)
birr = com6(4,1)

beta_t_perc = beta_t * bt
beta_nc_perc = beta_nc * bnc
beta_irr_perc = beta_irr * birr

%ALTRO METODO PER VEDERE QUALE VARIABILE INFLUENZA DI PIÙ IL MODELLO

RHO_t = corr(x6t,yc)
RHO_nc = corr(x6nc,yc)
RHO_irr = corr(x6irr,yc)

%CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE MULTIPLA

Rsquare = (beta_t_perc * RHO_t) + (beta_irr_perc * RHO_irr)

```

```
%SI E' ELIMINATO IL TERMINE beta_nc_perc*RHO_nc, ALTRIMENTI NON MI
%AVREBBE RESTITUITO NULLA COME VALORE, POICHE' LA DEVIAZIONE STANDARD
%DI UNA COSTANTE RISULTA ZERO.
```

```
% CALCOLO DEL PESO PERCENTUALE DELLE VARIABILI
```

```
TEMP = (beta_t_perc * RHO_t) / Rsquare
IRR = (beta_irr_perc * RHO_irr) / Rsquare
```

```
% VERIFICA DELLA MULTICOLLINEARITÀ TRA TEMPERATURA ED IRRAGIAMENTO
```

```
RHO_vif1 = corr(x6t,x6irr)
```

```
VIF_1 = 1/(1-(RHO_vif1)^2)
```

## 6.7 Risultati della regressione lineare multipla

Per la formula della regressione lineare multipla viene utilizzata la notazione di Wilkinson, che corrisponde a :

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

*Estimate*: individua i coefficienti calcolati per ogni termine del modello.

*SE*: esprime l'errore standard dei coefficienti.

*tSTAT*: è la valutazione tStudent per ogni coefficiente per testare l'ipotesi nulla contro l'ipotesi alternativa che i coefficienti siano diversi da zero.

$$tStat = \frac{Estimate}{SE}$$

*Pvalue*: è la valutazione F statistic del test d'ipotesi verifica che il coefficiente corrispondente sia uguale o no a zero. Per esempio se il pValue dell'F-statistic per la variabile x<sub>2</sub> fosse maggiore di 0,05, quindi questo termine non è significativo al livello del 5% degli altri coefficienti nel modello.

*Number of observation*: numero di righe senza valori NaN (Not a Number).

*Error degrees of freedom*: n-p, dove n è il numero di osservazioni e p è il numero di coefficienti nel modello, inclusa l'intercetta.

*Root Mean Squared Error*: radice quadrata dell'errore quadrato medio, che calcola la deviazione standard della distribuzione degli errori.

*R-squared and Adjusted R-squared:* Coefficiente di determinazione e coefficiente di determinazione corretto. Ad esempio il valore  $R^2$  suggerisce che il modello spiega la percentuale di variabilità della risposta di una variabile.

*F-statistic vs. constant model:* test statistico per il test F nel modello di regressione. Confronta per il modello di regressione lineare la relazione tra la variabile di risposta e quella prevista.

### 6.7.1 Modello di regressione lineare

Utilizzando la regressione lineare semplice, si è preferito costruire il modello per step successivi, considerando dapprima le variabili prese singolarmente ed inseguito nel loro complesso. Questo perché da un primo approccio utilizzando T, Nc ed Irr, ci si è accorti che l'intercetta che calcolava Matlab era nulla. Il motivo è risultato dalla regressione semplice considerando solo i componenti della famiglia. L'andamento è quindi una retta che parte dall'origine.

Di seguito vengono mostrati i risultati della regressione nei vari casi, così come calcolati da Matlab, per l'utente 6 (Villar Dora).

Variabile: *temperatura*

$$md\_t = y \sim 1 + x_1$$

Coefficienti	Estimate	SE	tStat	pValue
<b>Intercetta</b>	6.0321e+07	1.8486e+06	32.63	1.0313e-109
<b>x<sub>1</sub></b>	-4.7704e+05	1.1669e+05	-4.0881	5.3653e-05

Numero di osservazioni: 363, Error degrees of freedom: 361

Root Mean Squared Error: 1.74e+07

R-squared: 0.0442, Adjusted R-Squared 0.0416

F-statistic vs. constant model: 16.7, p-value = 5.37e-05

Variabile: *numero di componenti della famiglia*

$$\text{md\_nc} = y \sim 1 + x_1$$

Coefficienti	Estimate	SE	tStat	pValue
<b>Intercetta</b>	0	0	NaN	NaN
<b>x<sub>1</sub></b>	1.7918e+07	3.1152e+05	57.517	7.3982e-184

Numero di osservazioni: 363, Error degrees of freedom: 362

Root Mean Squared Error: 1.78e+07

R-squared: 0, Adjusted R-Squared 0

F-statistic vs. constant model: NaN, p-value = NaN

Variabile: *irraggiamento solare*

$$\text{md\_irr} = y \sim 1 + x_1$$

Coefficienti	Estimate	SE	tStat	pValue
<b>Intercetta</b>	5.4635e07	1.8798e06	29.065	1.4513e-96
<b>x<sub>1</sub></b>	-2.2365e+05	4.1356e+05	-0.5408	0.58898

Numero di osservazioni: 363, Error degrees of freedom: 362

Root Mean Squared Error: 1.78e+07

R-squared: 0.000809, Adjusted R-Squared -0.00196

F-statistic vs. constant model: 0.292, p-value = 0.589

Variabili: *Temperatura, Numero componenti famiglia, Irraggiamento*

md6 =

$$y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3$$

Coefficienti	Estimate	SE	tStat	pValue
<b>Intercetta</b>	0	0	NaN	NaN
<b>x<sub>1</sub></b>	-1.0011e+06	1.749e+05	-5.7241	2.1978e-08
<b>X<sub>2</sub></b>	1.9356e+07	6.331e+05	30.573	5.727e-102
<b>X<sub>3</sub></b>	2.4013e+06	6.0622e+05	3.9611	8.998e-05

Numero di osservazioni: 363, Error degrees of freedom: 360

Root Mean Squared Error: 1.71e+07

R-squared: 0.0842, Adjusted R-Squared 0.0791

F-statistic vs. constant model: 16.5, p-value = 1.34e-07

# 7. Analisi dei risultati ottenuti

---

In questo capitolo si mostrano i risultati ottenuti dal modello ricavato ed applicato ai dati del progetto Energy@Home e a quelli del progetto Empowering, di un complesso di utenze di Torino Sud alimentate da Iren. Verranno descritte le criticità riscontrate ed i possibili miglioramenti da apportare.

## 7.1 Andamento dei consumi

Per avere un'idea dello sviluppo dei consumi, come primo step si è plottato il grafico degli andamenti annuali (si prende come riferimento l'utente 6, Villar Dora), avendo a disposizione 350 giorni, ovvero 49 settimane, dal 12 Gennaio 2015 al 27 Dicembre 2015.

In rosso è evidenziata la curva che rappresenta le misure rilevate, mentre in blu come evolve il modello nell'arco dell'anno. Si può notare come quest'ultimo seppur segua abbastanza fedelmente l'andamento dei consumi reali, è però caratterizzato da un errore elevato tra la misura ed i valori previsti. Gli errori si presentano come molto elevati e superiori, nelle zone dei picchi, anche oltre al 20%. Questo probabilmente è dovuto ai dati di partenza forniti, che si presentavano come una nuvola di valori caratterizzati da picchi importanti. Questa problematica si presenta anche per gli altri sei utenti situati a Caluso, Castelplanio, Peschiera Borromeo, Pordenone, Civitanova Marche e Olgiate Olona. I pianori che si distinguono nel grafico 5, sono dovuti all'interpolazione fatta con Matlab.

### 7.1.1 Villar Dora

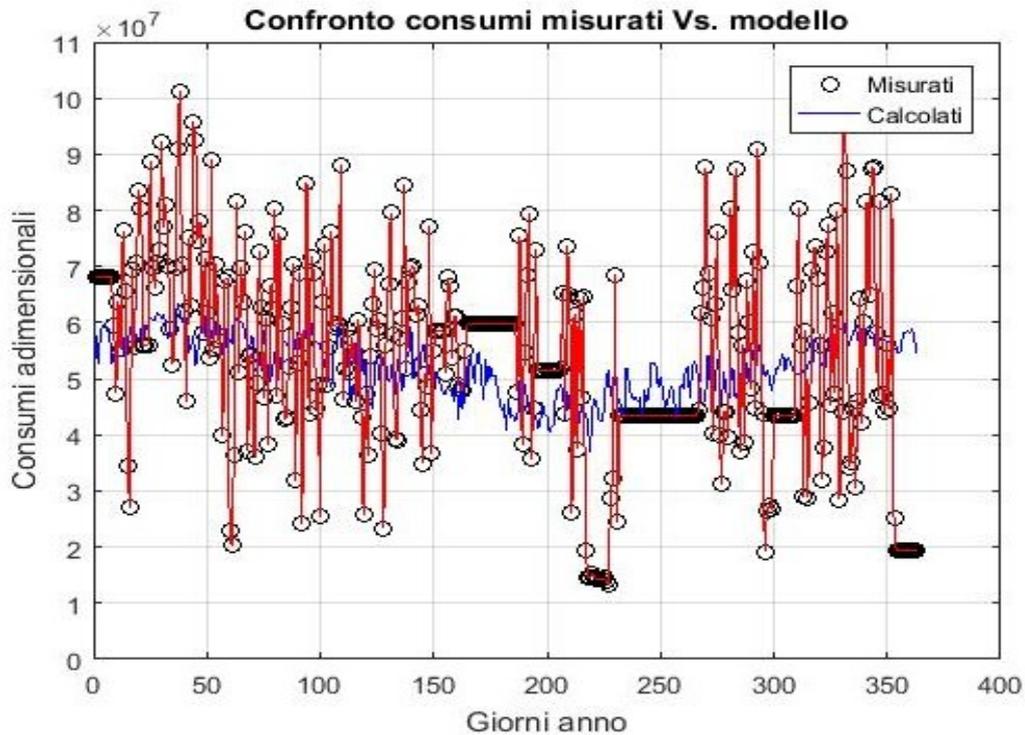


Grafico 5. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello

Si evidenzia invece come sia visibile uno sviluppo attorno al valor medio che ricalca i consumi annuali tipici di un'utenza residenziale, ovvero un'inflexione nei giorni dal 180 al 250 che rappresentano i mesi estivi.

Allo scopo di migliorare l'andamento, si è pensato di fare la media dei consumi settimanali. L'idea è che attraverso la media, vengano attenuati i picchi che influenzano le misure.

Il grafico sottostante dimostra che effettivamente gli errori tra le misure ed il modello vengono ridotti di molto, avvicinandosi ai valori attesi.

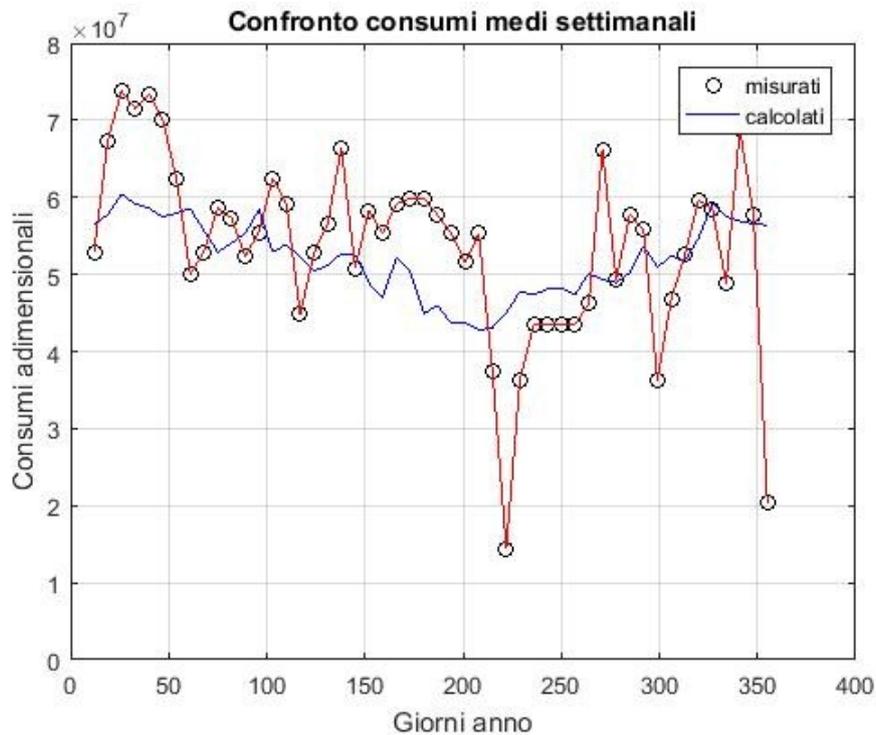


Grafico 6. 12 Gennaio 2015 - 27 Dicembre 2015

Oltre ai due grafici precedenti si è cercato di capire quale fosse il carico base delle utenze nella settimana a cavallo di ferragosto. Come ci si aspettava, a meno dei picchi presenti, durante le settimane 33-34 si ha pressoché un consumo costante, come dimostra il grafico seguente.

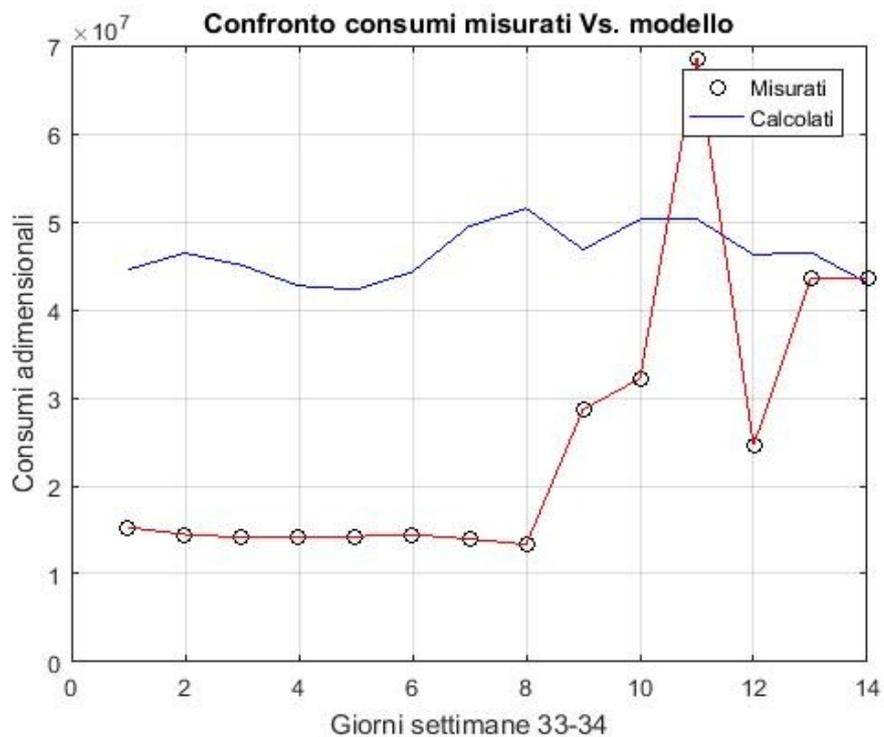


Grafico 7. 10 Agosto 2015 - 23 Agosto 2015

Statisticamente il modello è significativo e lo dimostrano i valori del pValue delle variabili utilizzate nel modello.

E' stata inoltre effettuata un'ulteriore verifica del modello attraverso il test statistico F e il test statistico t descritti in precedenza. I valori riscontrati sono riportati di seguito e denotano la bontà del modello, dato che il p-value è inferiore al limite di 0,05.

**Tabella 25. Verifica test F e test t per l'utente 6**

<b>ANALISI VARIANZA</b>		
<i>Significatività F (p-value)</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Significatività t (p-value)</i>
<b>1,34*10<sup>-7</sup></b>	Intercetta x <sub>0</sub>	0
	Variabile x <sub>1</sub> (T)	2,1978*10 <sup>-8</sup>
	Variabile x <sub>2</sub> (Nc)	5,727*10 <sup>-102</sup>
	Variabile x <sub>3</sub> (Irr)	8,998*10 <sup>-5</sup>

Il p-value è un indice di probabilità utilizzato in statistica per indicare il minimo livello di significatività. Nel caso del test F si ottiene un modello significativo nel caso in cui il pValue assuma un valore minore del valore critico (0,05). Nel caso del test t esiste una relazione tra la variabile indipendente X<sub>i</sub> e la variabile Y nel caso di pValue minore del valore critico (0,05).

Viene inoltre riportato il grado di multicollinearità tra la temperatura e l'irraggiamento solare.

<b>Fattore di crescita della varianza</b>	
<b>VIF</b>	2,3378

Gli stessi grafici e considerazioni statistiche vengono ripetuti anche per gli altri utenti, fatto salvo i diversi periodi che caratterizzano ognuno.

## 7.1.2 Caluso

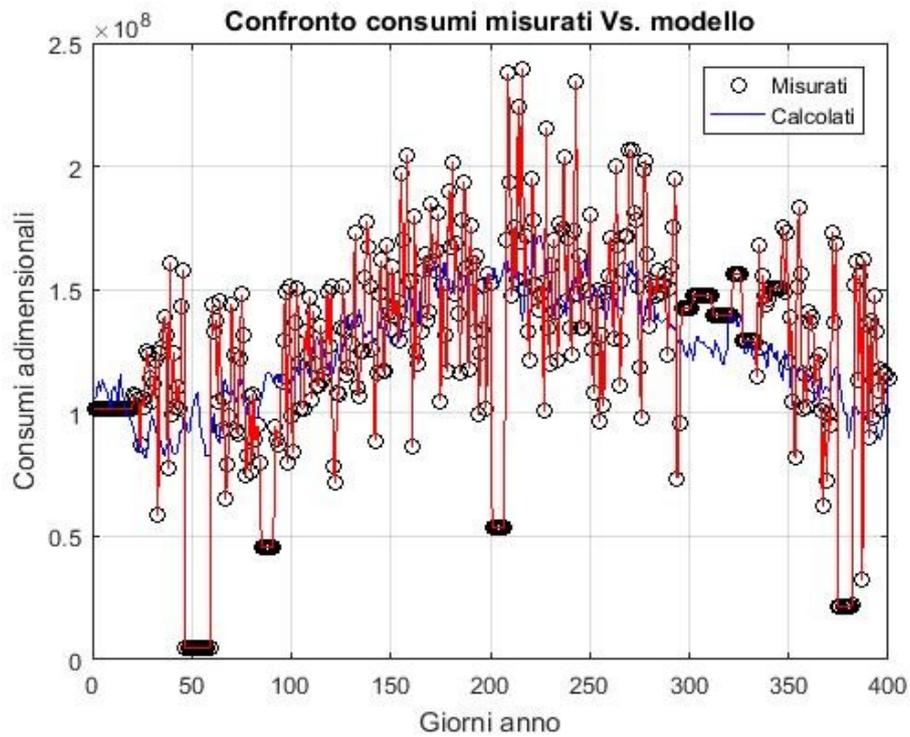


Grafico 8. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello

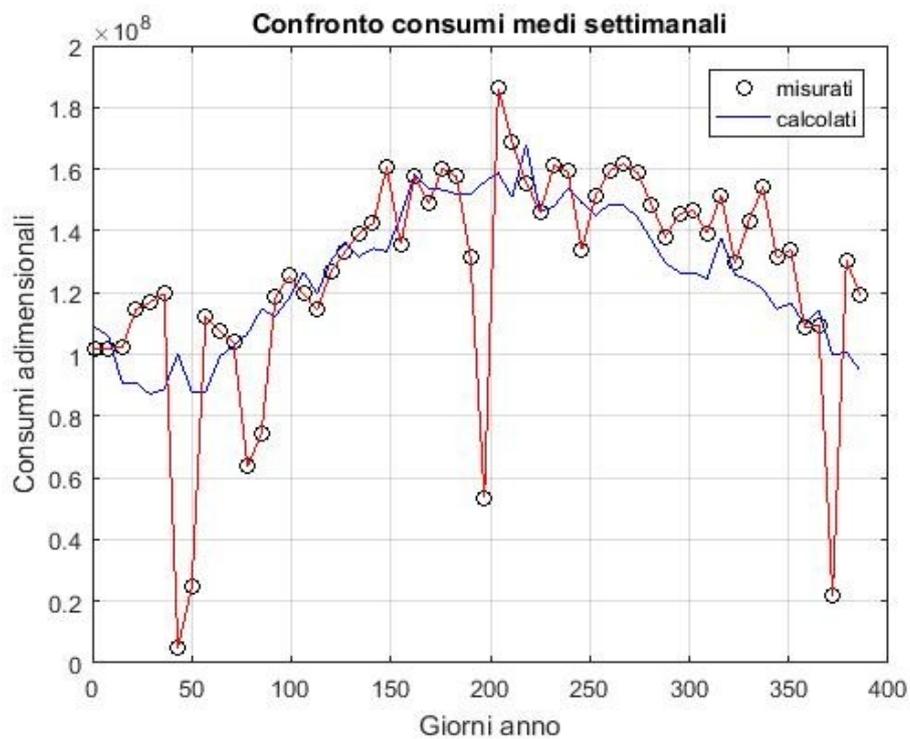


Grafico 9. 15 Giugno 2015 - 10 Luglio 2016

Dal grafico 9 si nota come vi sia un andamento periodico quasi sinusoidale dei consumi e che evolve attorno al valor medio, con i consumi maggiori rilevati tra i giorni 150 e 250, ovvero da circa inizio novembre a circa fine febbraio.

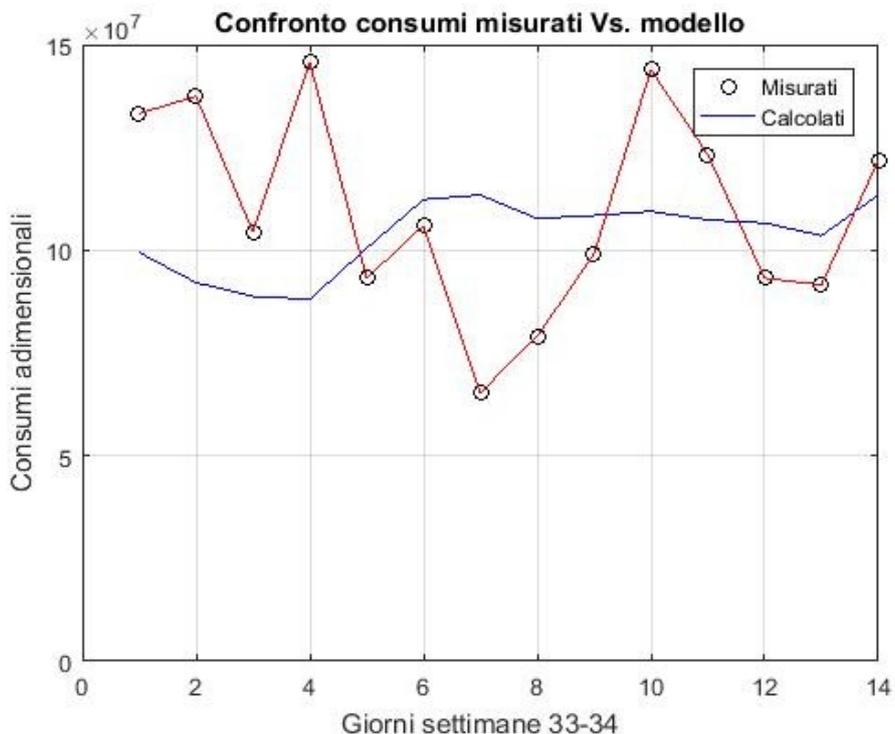


Grafico 10. 10 Agosto 2015 - 23 Agosto 2015

Il test statistico F ed il test statistico t riportano i risultati seguenti.

Tabella 26. Verifica test F e test t per l'utente 126

ANALISI VARIANZA		
Significatività F (p-value)	Coefficiente	Significatività t (p-value)
5,99*10 <sup>-27</sup>	Intercetta x <sub>0</sub>	0
	Variabile x <sub>1</sub> (T)	4,2798*10 <sup>-16</sup>
	Variabile x <sub>2</sub> (Nc)	1,0171*10 <sup>-144</sup>
	Variabile x <sub>3</sub> (Irr)	0,03604

Il grado di multicollinearità risulta:

Fattore di crescita della varianza	
VIF	2,307

### 7.1.3 Castelplanio

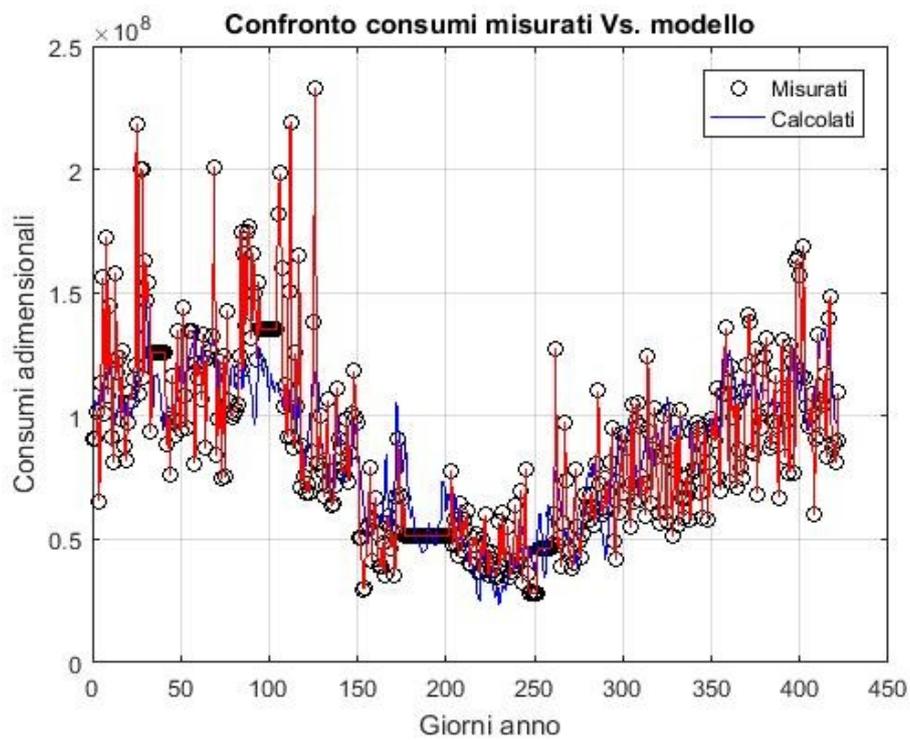


Grafico 11. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello

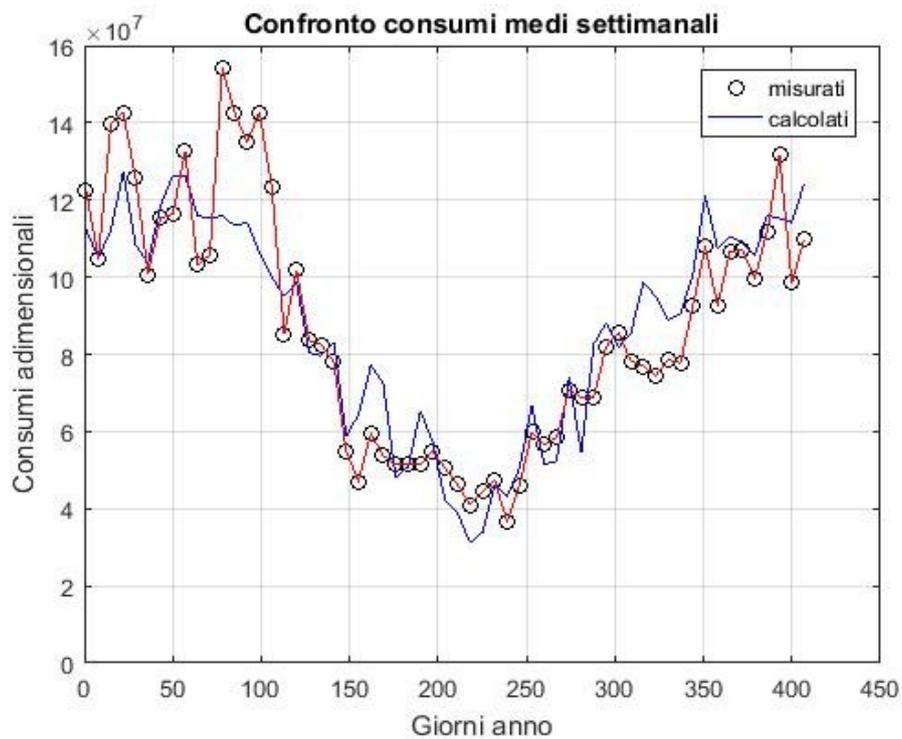


Grafico 12. 8 Dicembre 2014 - 24 Gennaio 2016

I consumi maggiori si rilevano in questo caso nei mesi invernali, ossia quelli fino al giorno 100 e dal giorno 300, che rappresentano i mesi invernali da novembre in poi. Anche in questo caso i consumi tendono a diminuire di molto nei mesi estivi

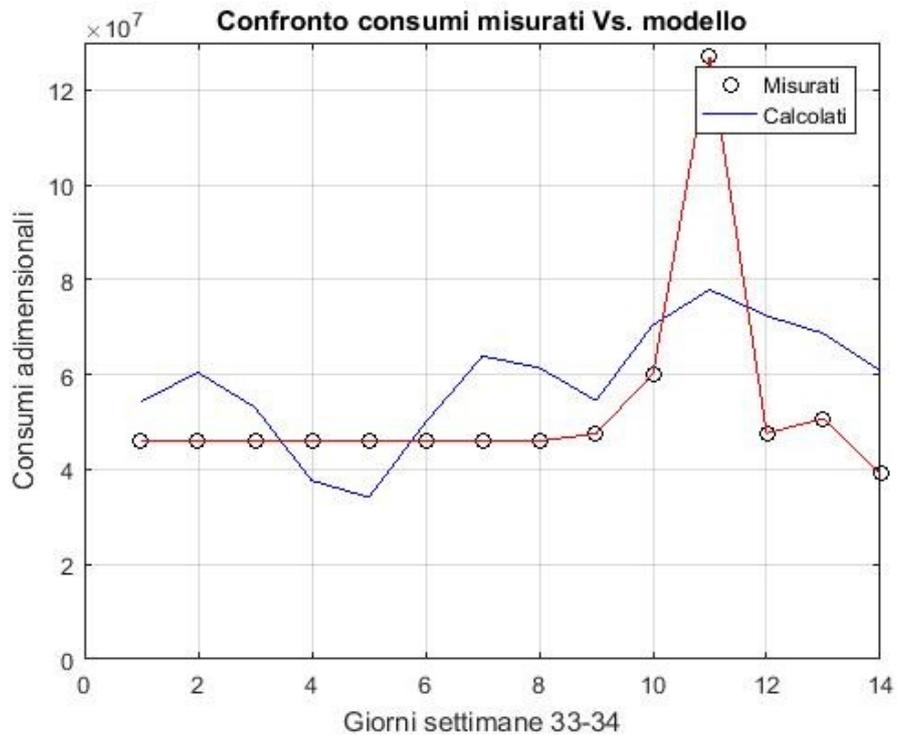


Grafico 13. 10 Agosto 2015 - 23 Agosto 2015

L'analisi statistica ed i test F e t eseguiti riportano i seguenti valori

Tabella 27. Verifica test F e test t per l'utente 103

ANALISI VARIANZA		
Significatività F (p-value)	Coefficiente	Significatività t (p-value)
<b>1,08*10<sup>-76</sup></b>	Intercetta x <sub>0</sub>	0
	Variabile x <sub>1</sub> (T)	1,4155*10 <sup>-43</sup>
	Variabile x <sub>2</sub> (Nc)	3,298*10 <sup>-197</sup>
	Variabile x <sub>3</sub> (Irr)	0,030708

Il grado di multicollinearità risulta

Fattore di crescita della varianza	
VIF	2,3307

## 7.1.4 Olgiate Olona

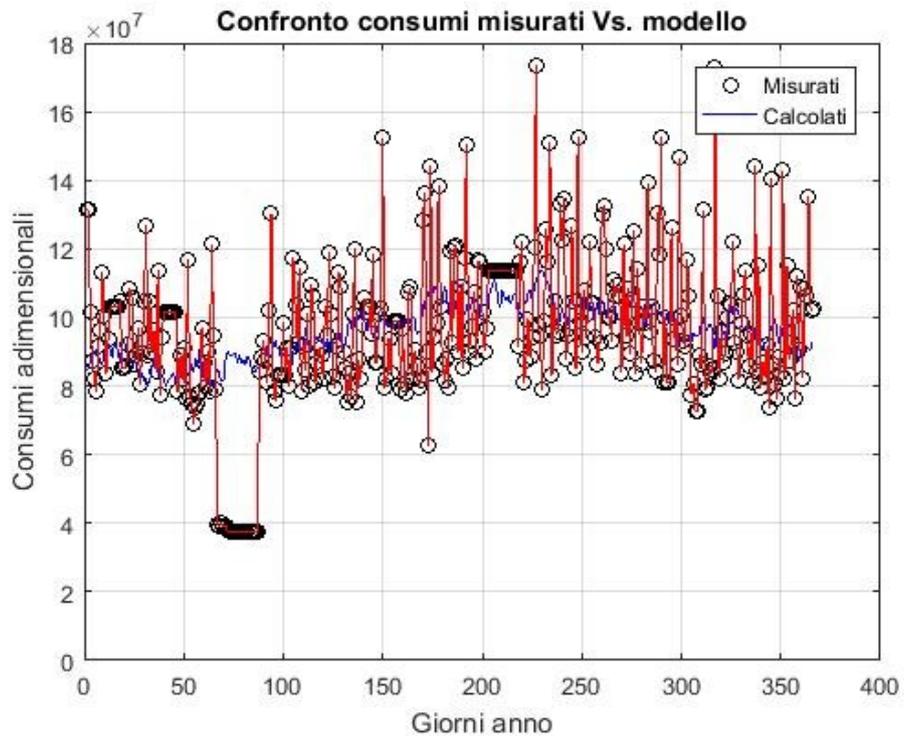


Grafico 14. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello

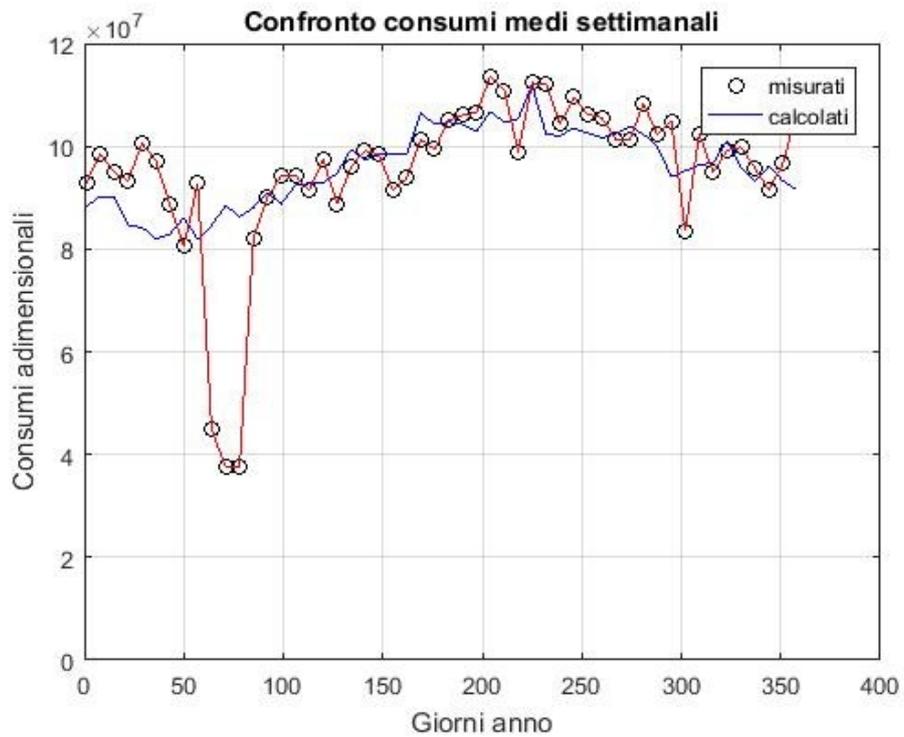


Grafico 15. 8 Giugno 2015 - 5 Giugno 2016

In questo caso pur avendo come osservazione il periodo di un anno, non si nota una grossa differenza nei consumi, anche se si può comunque osservare anche qui un andamento periodico quasi sinusoidale, con consumi maggiori che si estendono a quasi tutto l'anno.

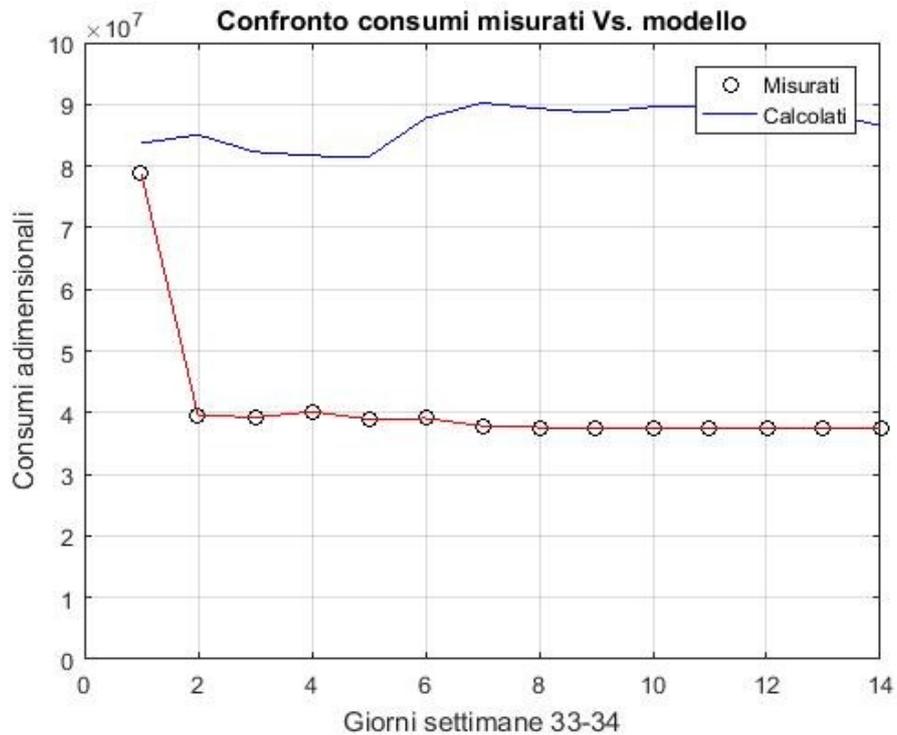


Grafico 16. 10 Agosto 2015 - 23 Agosto 2015

L'analisi statistica ed i test F e t eseguiti riportano i seguenti valori

Tabella 28. Verifica test F e test t per l'utente 102

ANALISI VARIANZA		
Significatività F (p-value)	Coefficiente	Significatività t (p-value)
$3,17 \cdot 10^{-11}$	Intercetta $x_0$	0
	Variabile $x_1$ (T)	$5,5959 \cdot 10^{-9}$
	Variabile $x_2$ (Nc)	$1,5907 \cdot 10^{-160}$
	Variabile $x_3$ (Irr)	0,0652

Il grado di multicollinearità risulta

Fattore di crescita della varianza	
VIF	2,3005

Se  $p \geq 0.05$ , la discrepanza tra dato osservato e valore atteso non è statisticamente significativa (cioè può trattarsi di un effetto casuale del campionamento) e  $H_0$  viene accettata. Questo significa che non esiste una relazione lineare tra la variabile indipendente  $X$  e la variabile dipendente  $Y$ .

Per inglobare la variabile nel modello bisogna che vengano soddisfatte contemporaneamente due condizioni, ovvero che non ci sia correlazione tra le variabili indipendenti  $X_i$  e che il pValue associato alla variabile sia minore di 0,05.

Nel caso dell'utente 102 residente ad Olgiate Olona, l'ultima condizione viene a mancare e l'irraggiamento non risulta una variabile significativa per la costruzione di un modello previsionale dei consumi elettrici.

### 7.1.5 Civitanova Marche

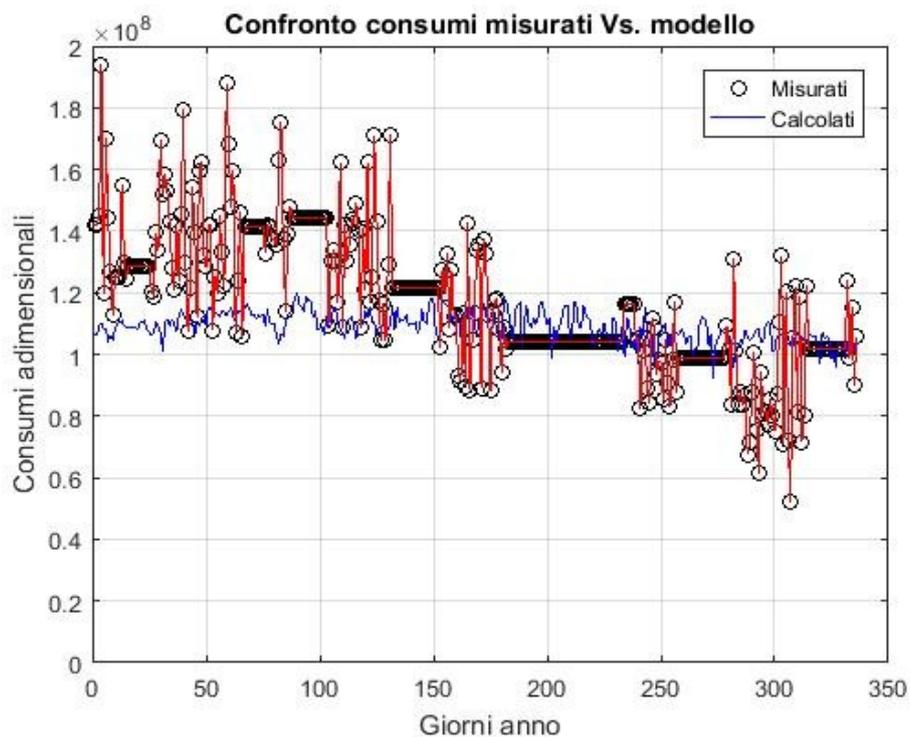
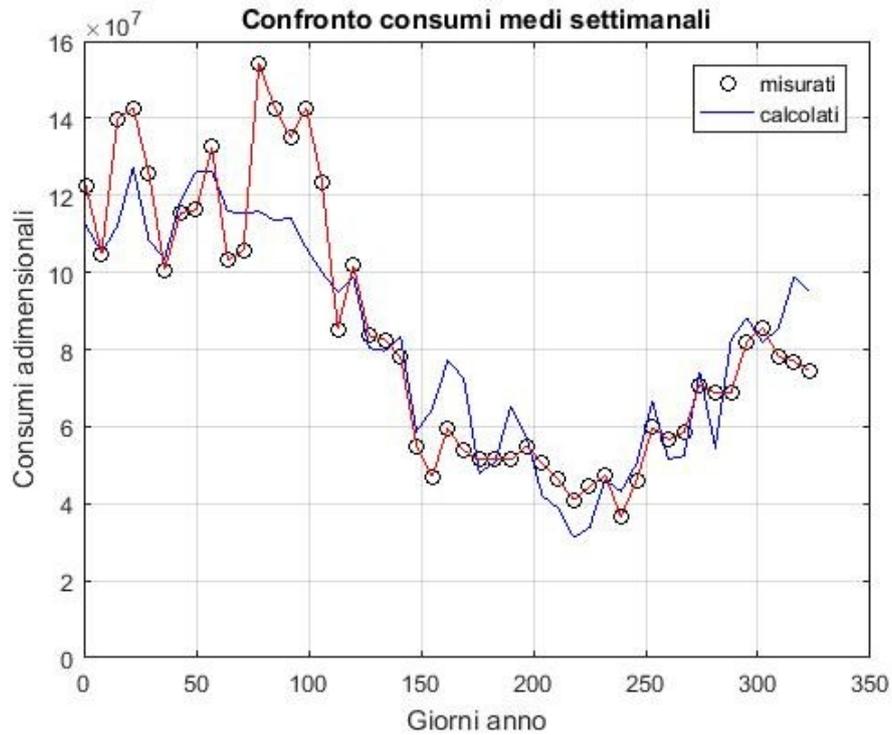
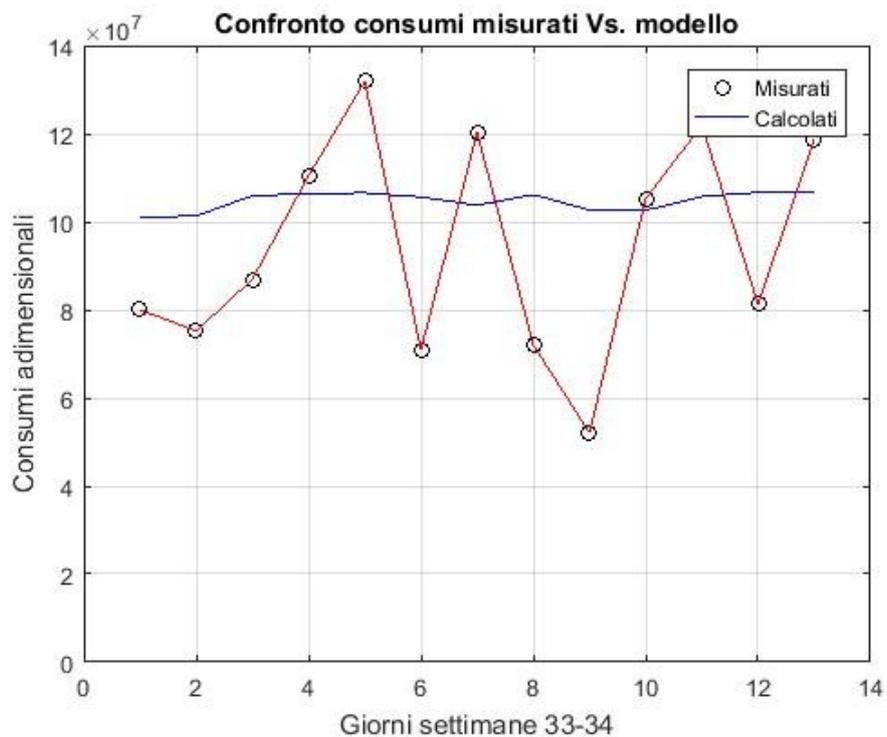


Grafico 17. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello



**Grafico 18. 26 Ottobre 2015 - 19 Settembre 2016**

Come si può notare dal grafico 18, si ha un'inflexione nei consumi intorno al giorno 150, fino al 320, che rappresentano i giorni da fine Marzo a fine Settembre.



**Grafico 19. 15 Agosto 2016 - 28 Agosto 2016**

L'analisi statistica ed i test F e t eseguiti riportano i seguenti valori

Tabella 29. Verifica test F e test t per l'utente 137

<b>ANALISI VARIANZA</b>		
<i>Significatività F (p-value)</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Significatività t (p-value)</i>
$2,14 \cdot 10^{-52}$	Intercetta $x_0$	0
	Variabile $x_1$ (T)	$6,8531 \cdot 10^{-18}$
	Variabile $x_2$ (Nc)	$3,1805 \cdot 10^{-205}$
	Variabile $x_3$ (Irr)	$6,4345 \cdot 10^{-6}$

Il grado di multicollinearità risulta

<b>Fattore di crescita della varianza</b>	
<b>VIF</b>	2,1050

### 7.1.6 Peschiera Borromeo

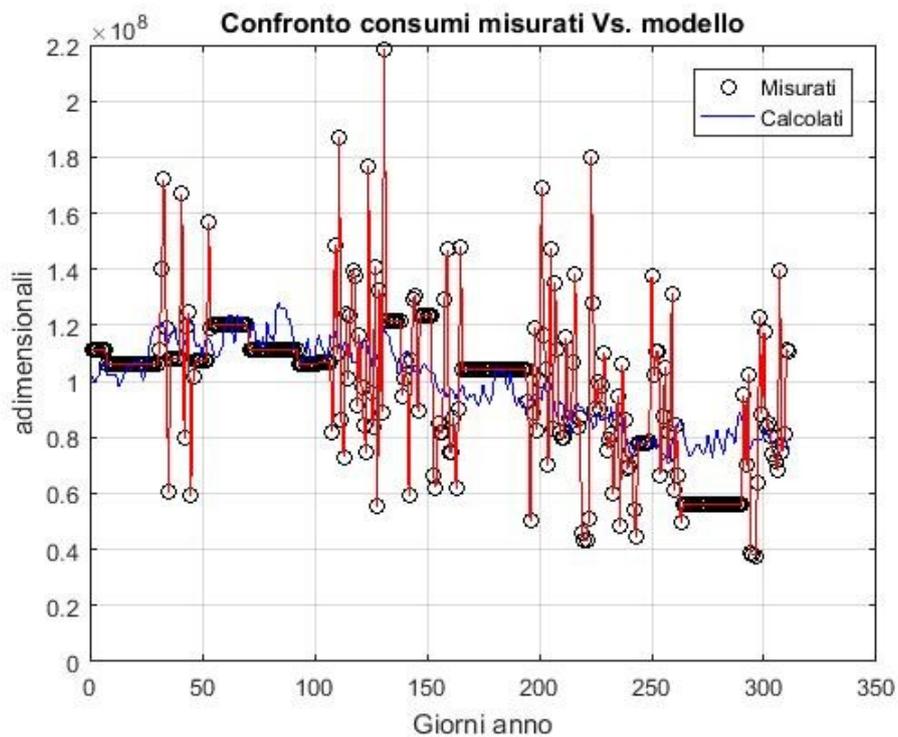


Grafico 20. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello

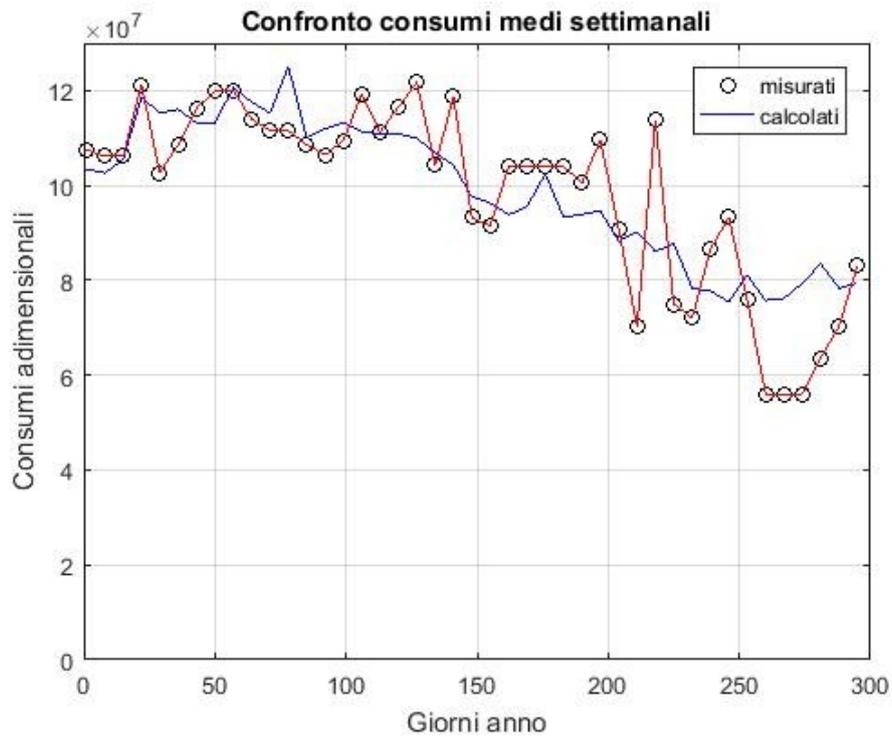


Grafico 21. 2 Novembre 2015 - 28 Agosto 2016

Per ciò che riguarda l'utente 152, il grafico 21 evidenzia una certa periodicità nell'andamento dei consumi. Come ci sia aspettava anche in questo caso i consumi calano nei mesi primaverili ed estivi.

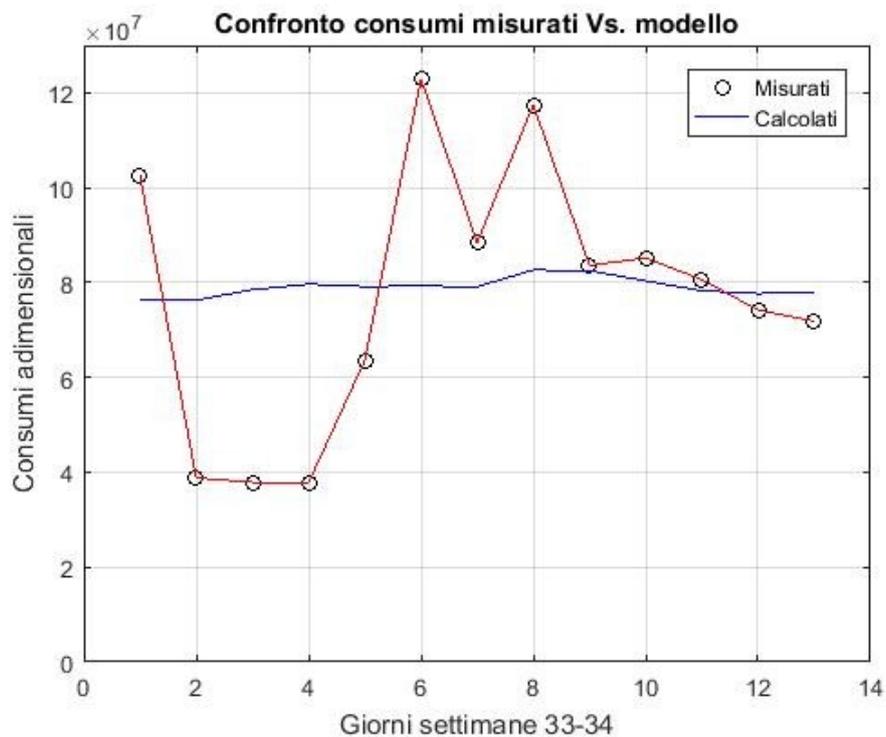


Grafico 22. 15 Agosto 2016 - 28 Agosto 2016

L'analisi statistica ed i test F e t eseguiti riportano i seguenti valori

Tabella 30. Verifica test F e test t per l'utente 152

<b>ANALISI VARIANZA</b>		
<b>Significatività F (p-value)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Significatività t (p-value)</b>
<b>2,737*10<sup>-12</sup></b>	Intercetta x <sub>0</sub>	0
	Variabile x <sub>1</sub> (T)	2,737*10 <sup>-12</sup>
	Variabile x <sub>2</sub> (Nc)	5,3773*10 <sup>-143</sup>
	Variabile x <sub>3</sub> (Irr)	0,41379

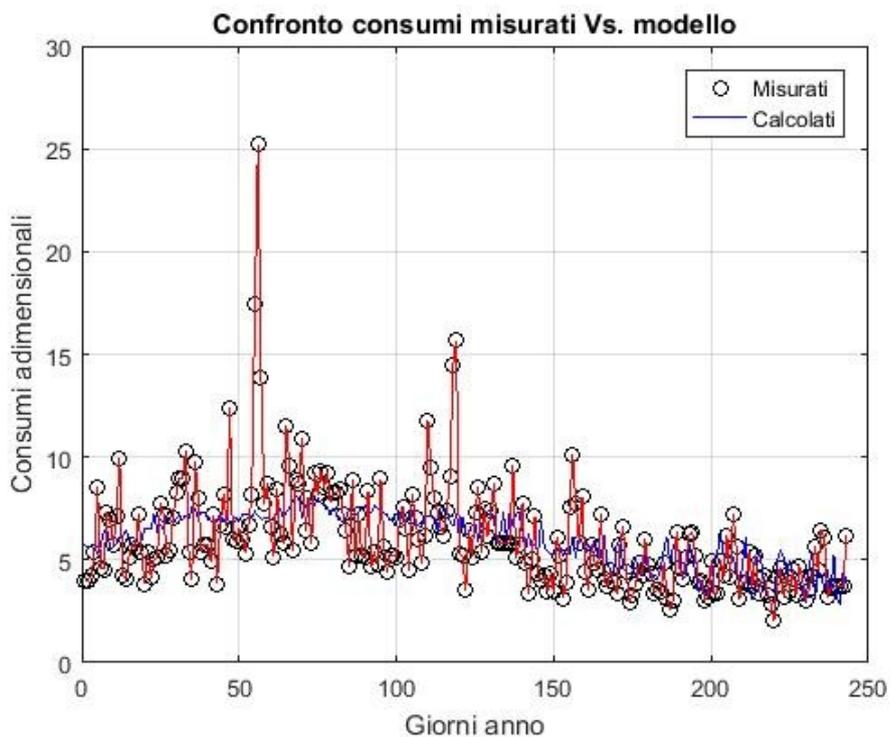
Il grado di multicollinearità risulta

<b>Fattore di crescita della varianza</b>	
<b>VIF</b>	2,9849

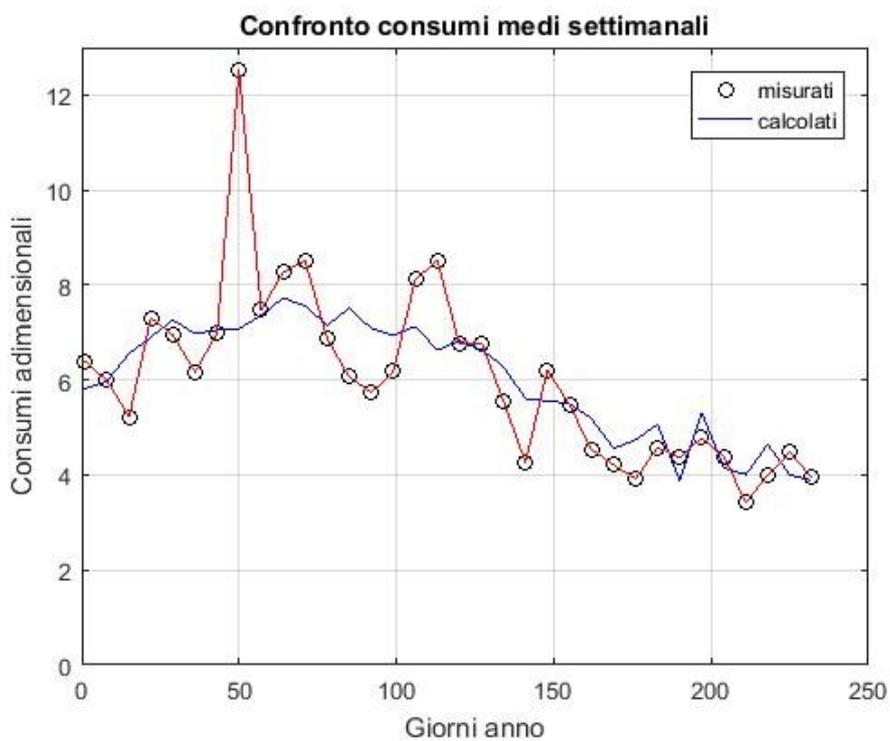
Se  $p \geq 0.05$ , la discrepanza tra dato osservato e valore atteso non è statisticamente significativa (cioè può trattarsi di un effetto casuale del campionamento) e  $H_0$  viene accettata.

Così come nel caso precedente anche in questo per l'utente 152 di Peschiera Borromeo, non esiste una relazione lineare tra la variabile in dipendente X e quella indipendente Y. L'irraggiamento non risulta quindi una variabile significativa per la costruzione di un modello previsionale dei consumi elettrici.

## 7.1.7 Pordenone



**Grafico 23. Andamento annuale dei consumi misurati e del modello**



**Grafico 24. 26 Ottobre 2015 - 19 Giugno 2016**

A causa della scarsità di dati che caratterizzano l'utenza 42, circa 300, non si riesce ad apprezzare un andamento periodico dei consumi attorno al valor medio, anche se viene confermata la bontà dei risultati constatando una diminuzione dei consumi intorno ai giorni 150 in poi (fine Marzo).

L'analisi statistica ed i test F e t eseguiti riportano i seguenti valori

Tabella 31. Verifica test F e test t per l'utente 42

<b>ANALISI VARIANZA</b>		
<i>Significatività F (p-value)</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Significatività t (p-value)</i>
<b>9,76*10<sup>-16</sup></b>	Intercetta x <sub>0</sub>	0
	Variabile x <sub>1</sub> (T)	0,0014819
	Variabile x <sub>2</sub> (Nc)	3,0001*10 <sup>-73</sup>
	Variabile x <sub>3</sub> (Irr)	0,0019971

Il grado di multicollinearità risulta

<b>Fattore di crescita della varianza</b>	
<b>VIF</b>	2,2784

## 7.2 Progetto Empowering

Lo stesso modello utilizzato per l'utente residente a Villar Dora è stato applicato ad un campione di utenze residenziali nella zona di Torino Sud, servite da Iren e facenti parte del progetto Empowering.

Il progetto internazionale "Empowering", è un progetto finanziato dal programma Horizon 2020 dell'Unione Europea. Esso punta ad una società con un basso livello di carbonio, rafforzando le capacità di enti locali e regionali nella definizione di strategie e piani energetici.

Il progetto coinvolge 12 partner di cinque Paesi europei (Spagna, Francia, Austria, Belgio, oltre che Italia) e per l'Italia aderiscono anche IREN Energia, in collaborazione con il Politecnico di Torino.

I dati, rilevati su un campione complessivo che si stima di circa 270.000 cittadini europei, saranno elaborati e consentiranno di fornire ai consumatori utili consigli per migliorare le proprie abitudini ed utilizzi energetici, mentre ai fornitori di energia, di implementare sistemi innovativi di fatturazione e comunicazione, che consentano in prospettiva, di realizzare programmi di miglioramento e maggior efficienza delle prestazioni energetiche.

### 7.2.1 Panoramica dati utilizzati

I primi dati analizzati comprendevano i consumi elettrici di 2.000 utenti elettrici suddivisi in tal modo:

- **1.800 (Test + Exp)**: essi comprendono un gruppo di utenti che riceve informazioni sul consumo e il possibile risparmio energetico, di cui 100 utenti (TEST) che partecipano in maniera più attiva (forniscono un feedback ad IREN riguardo le modalità con cui vengono informati dei consumi: grafica, colori, chiarezza dei diagrammi, ecc.);
- **200 (Ctrl)**: essi comprendono un gruppo di utenti che NON riceve informazioni sul consumo e il possibile risparmio energetico; essi non sono a conoscenza di essere stati inseriti nel gruppo di controllo.

### 7.2.2 Consumi elettrici medi

In questo paragrafo si mostrano gli andamenti dei consumi elettrici medi per i due anni presi in considerazione (2013 e 2014). Tale andamento è stato valutato per 3 gruppi di utenti descritti in precedenza (TEST, EXP e CTRL). E' possibile notare un picco negativo nel mese di

Agosto, esso è tipico per i consumi elettrici ed è principalmente dovuto al fatto che è il periodo dove la maggior parte della popolazione si reca in ferie.

Nelle tabelle sotto sono riportati i consumi mensili di energia elettrica in [kWh] nel 2013 e nel 2014.

**Tabella 32. Consumi medi mensili anno 2013 per gli utenti TEST+EXP+CTRL**

2013													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT
Consumo elettrico [kWh]	208	194	204	174	179	162	174	138	165	191	194	211	2193

**Tabella 33. Consumi medi mensili anno 2014 per gli utenti TEST+EXP+CTRL**

2014													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT
Consumo elettrico [kWh]	211	190	188	168	169	161	160	127	162	183	189	203	2110

Di seguito vengono riportati i grafici che confrontano i consumi elettrici giornalieri medi, calcolati e reali in entrambi i casi esaminati.

**Tabella 34. Consumi medi giornalieri anno 2013 per gli utenti TEST+EXP+CTRL**

Consumi medi giornalieri 2013 [kWh]												
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
<b>Reali</b>	6,72	6,94	6,61	5,88	5,85	5,5	5,66	4,5	5,6	6,24	6,52	6,85
<b>Modello</b>	6,88	6,86	6,55	5,92	5,57	5,49	5,49	5,53	5,68	6,05	6,57	6,83

**Tabella 35. Consumi medi giornalieri anno 2014 per gli utenti TEST+EXP+CTRL**

Consumi medi giornalieri 2014 [kWh]												
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
<b>Reali</b>	6,8	6,83	6,14	5,68	5,54	5,45	5,23	4,18	5,49	5,97	6,37	6,58
<b>Modello</b>	6,79	6,64	6,16	5,74	5,54	5,49	5,53	5,58	5,66	5,91	6,37	6,75

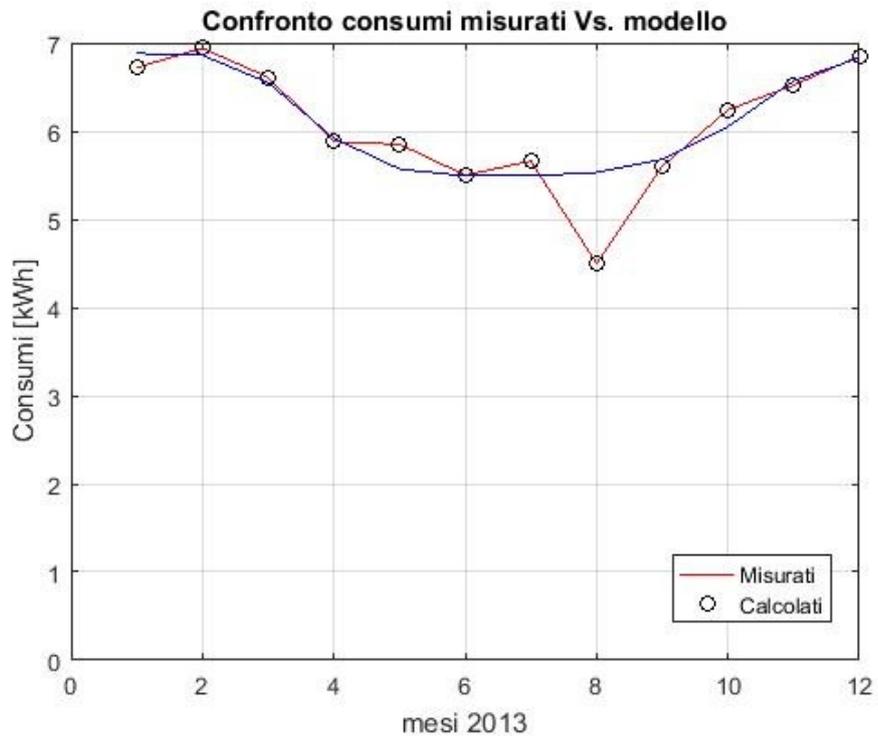


Grafico 25. Andamento medio mensile dei consumi misurati e del modello anno 2013

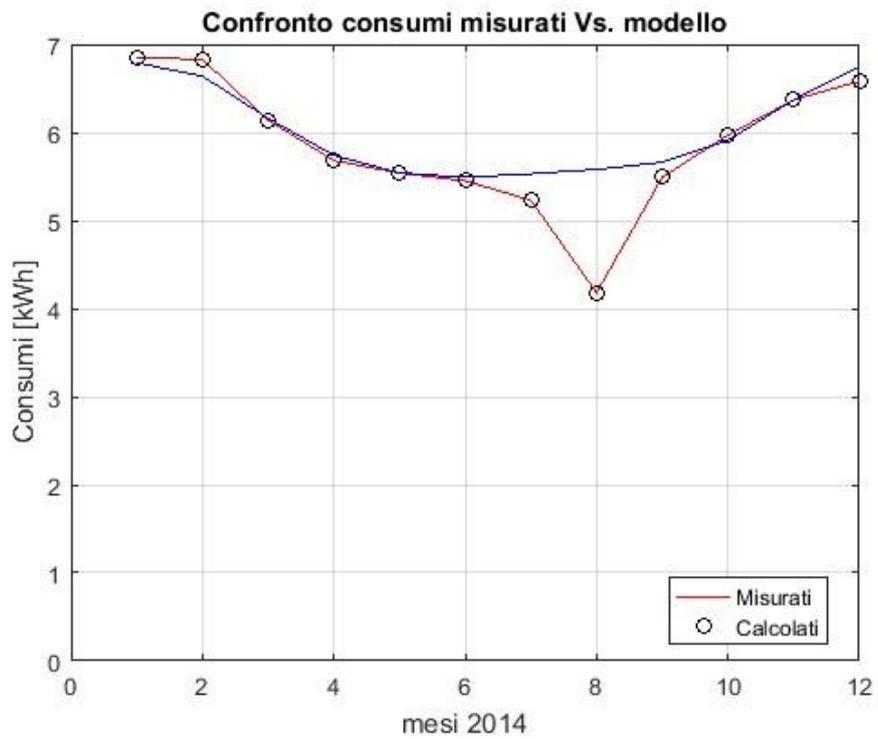


Grafico 26. Andamento medio mensile dei consumi misurati e del modello anno 2014



## Conclusioni

Il lavoro svolto in questa tesi di laurea si è concentrato sull'analisi dei consumi elettrici di 7 utenti in diverse zone d'Italia, negli anni 2014-2015-2016. Si è inoltre esaminato un gruppo di circa 2000 utenti nella città di Torino, considerando gli anni 2013-2014. I dati riguardavano rispettivamente il progetto Energy@Home ed il progetto Empowering.

Attraverso tali consumi sono stati costruiti dei modelli matematici con l'intento di simulare l'andamento stagionale in funzione di 3 variabili. La scelta è ricaduta su due parametri climatici ed uno sociale, ovvero temperatura media giornaliera dell'aria esterna, irraggiamento solare medio giornaliero e numero di componenti della famiglia.

Per lo sviluppo di questi modelli è stata utilizzata la regressione lineare multipla, che attraverso i tre fattori utilizzati permette di valutare i consumi energetici sia passati che futuri. I modelli di regressioni utilizzati sono stati:

*Id 6 (Villar Dora)*

$$y = -1,001 * 10^6 X_1 + 1,935 * 10^7 X_2 + 2,401 * 10^6 X_3$$

*Id 103 (Caselplanio)*

$$y = -3,283 * 10^6 X_1 + 3,923 * 10^7 X_2 - 1,488 * 10^6 X_3$$

*Id 126 (Caluso)*

$$y = -3,132 * 10^6 X_1 + 3,319 * 10^7 X_2 + 1,108 * 10^6 X_3$$

*Id 137 (Civitanova Marche)*

$$y = -1,678 * 10^6 X_1 + 2,526 * 10^7 X_2 - 2,422 * 10^6 X_3$$

*Id 102 (Olgiate Olona)*

$$y = -1,249 * 10^6 X_1 + 3,572 * 10^7 X_2 + 1,399 * 10^6 X_3$$

*Id 152 (Peschiera Borromeo)*

$$y = -2,039 * 10^6 X_1 + 4,149 * 10^7 X_2 + 7,616 * 10^5 X_3$$

*Id 42 (Pordenone)*

$$y = -0,119 * X_1 + 4,139 * X_2 - 0,331 * X_3$$

I modelli sono diversi tra di loro e questo è dovuto alle diverse abitudini di consumo degli utenti ed in particolare al fatto che abbiamo caratteristiche non omogenee tra di loro. Si distinguono infatti molteplici aspetti, dalle potenze contrattuali del contatore, ai componenti del nucleo familiare, la zona d'Italia in cui si trova il comune ed infine al periodo di misura.

Quello che si ottiene plottando con Matlab i risultati ottenuti, sono andamenti del modello che presentano errori importanti rispetto alle misure rilevate. Questo in parte è dovuto ai dati di partenza che presentano picchi non spiegabili fisicamente e dai buchi nelle misurazioni.

L'andamento e gli errori sono migliorati utilizzando i consumi medi settimanali invece che quelli giornalieri, attenuando così i picchi delle misure, ma mantenendo l'andamento attorno al valor medio. Inoltre nel caso dell'utente 102 e 152 l'irraggiamento solare medio, non è significativa come variabile.

Quello che si potrebbe fare per migliorare gli scarti tra consumi reali e modello sarebbe eliminare i picchi delle misure considerate, dopo aver fatto l'interpolazione per colmare i buchi nelle misure, e calcolare nuovamente i coefficienti con la regressione lineare multipla, definendo così un nuovo modello. Infine, ma questo non dipende dal lavoro presentato, occorrerebbe affinare il metodo di misura, innanzi tutto per evitare i buchi presenti nelle misure, unificare il periodo di inizio e fine del progetto in modo da avere intervalli temporali definiti ed infine estendere il periodo di monitoraggio per avere più dati su cui lavorare. Con più dati a disposizione sarebbe possibile fare un modello statistico più accurato per utenti con caratteristiche simili.

Tutto ciò è stato implementato su un gruppo di circa 2000 utenti residenti a Torino sud, ottenendo errori soddisfacenti e di molto inferiori rispetto al progetto Energy@Home, con curve del modello che rispecchiano abbastanza fedelmente quelle dei consumi misurati.



## Bibliografia

- [1] IEA, *Monthly Electricity Statistics, May 2017*
- [2] Terna Gruppo, *Dati Generali*
- [3] Ministero Dello Sviluppo Economico, *Strategia Energetica Nazionale 2017, Audizione Parlamentare*
- [4] Enea, *L'etichetta Energetica, Sviluppo sostenibile*
- [5] Energy@Home, *Impatti del Dynamic Pricing applicato ai consumatori elettrici residenziali*
- [6] Autorità per le garanzie nelle comunicazioni, *Esiti delle attività del Gruppo Di Lavoro per l'analisi delle tecnologie di comunicazione dei dati nei sistemi di smart metering*
- [7] Telecom, *Smart Metering & More il punto di vista Telecom Italia*
- [8] M. Rinaudo, "Modelli di Consumo Energetico per gli Edifici Residenziali di Torino" (20/04/2015). *Penetrazione Classi Energetiche sul mercato Europeo*. Available: <http://www.gfk.com/>
- [10] P. Bertoldi, B. Hirl, and N. Labanca, *Energy Efficiency Status Report 2012* JRC, 2012.
- [11] F. Di Andrea and A. Danese, *MICENE: Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione: eERG*, 2004.
- [12] P. Ungaro, *L'indagine Istat sui consumi energetici delle famiglie: principali risultati* ISTAT, 2013.
- [13] F. Cicero, N. Di Gaetano, and L. Speciale, *I comportamenti di consumo elettrico delle famiglie italiane* L'Energia Elettrica, 2010.
- [14] L. Lo Schiavo, *CLIENTI DOMESTICI: Nuove tariffe e consapevolezza dei consumi e del prelievo di potenza* AEEGSI, 2015.
- [15] AEEG, *Riforma delle tariffe di rete e delle componenti tariffarie a copertura degli oneri generali di sistema per i clienti domestici di energia elettrica*, 2015.
- [16] <https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo>
- [17] [http://www.arpalombardia.it/Pages/ARPA\\_Home\\_Page.aspx](http://www.arpalombardia.it/Pages/ARPA_Home_Page.aspx)
- [18] ARPA Piemonte, "BANca dati meteorologica"
- [19] <http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Console-Servizi-Protezione-Civile/SIRMIP-online>
- [20] [http://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali\\_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html](http://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html)
- [21] <http://www.osmer.fvg.it/archivio.php?ln>
- [22] <http://www.solaritaly.enea.it/informazioni.php>
- [23] G.V. Fracastoro, "La radiazione solare"
- [24] F. Campobasso, "Regressione lineare multipla," ed: Università di Bari, 2009.
- [25] Oscar Torres -Reyna, "Linear regression using data", ed. Princeton University
- [26] (06/04/2015). *Ipotesi multicollinearità*. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Regressione\\_lineare#Regressione\\_lineare\\_multipla](https://it.wikipedia.org/wiki/Regressione_lineare#Regressione_lineare_multipla)
- [27] M. Ferrante, *Corso di Statistica Aziendale*: Università di Bologna, 2014.
- [28] Violeta Ivanova, Ph.D., "Educational Technology Consultant", ed MIT Academic Computing
- [29] P. Gabriele, E. Giaccone, S. Mancò, "Gestione dei Sistemi Energetici"
- [30] G. Huebner, D. Shipworth, I. Hamilton, Z. Chalabi, T. Oreszczyn, "Understanding electricity consumption: A comparative distribution of building factor, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes"

- [31] G. Mutani, M. Pastorelli, F. De Bosio, "*A model for the evaluation of thermal and electric energy consumptions in residential buildings*"
- [32] S. Jovanovic, S. Savic, M. Bojic, Z. Djordjevic, D. Nikolic, "The impact of the mean daily air temperature change on electricity consumption"

# Appendice A

In questa Appendice si riporta le Tabella 17 completa.

ID	Domain	Comune	Provincia	NC	P [kW]	PV	ID	Name	Data Start	Data End
guitilab1@gmail.com	default					No	-	-	-	-
6	ENERGY@HOME	Villar dora	Torino	3	3	No	1	Contatore	01/12/2014	30/04/2016
							2	Lavatrice	05/02/2015	30/04/2016
							3	TV	05/02/2015	14/06/2015
							4	Zona PC	-	-
							49		-	-
103	ENERGY@HOME	Castelplanio	Ancona	4	6	Si	60		-	-
							9	forno	01/12/2014	22/09/2016
							37	frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							7	lavatrice	01/12/2014	22/09/2016
							11	macchina caffè	01/12/2014	22/09/2016
							10	PC	01/12/2014	22/09/2016
							6	smart info fotovoltaico	01/12/2014	22/09/2016
							5	smart info scambio	01/12/2014	22/09/2016
8	TV	01/12/2014	22/09/2016							
121	ENERGY@HOME	Nichelino	Torino	4	3	No	50		-	-
							12	0121 Contatore	-	-
							17	Forno	17/03/2015	22/09/2016
							16	Frigorifero	17/03/2015	22/09/2016
							15	Lavastoviglie	28/04/2015	22/09/2016
							13	Lavatrice	17/03/2015	06/03/2016
							69	PC	-	-
14	TV + Stb Sky	17/03/2015	22/09/2016							
11	ENERGY@HOME	Gorgonzola	Milano			No	62		-	-
							18	Forno	03/06/2015	22/09/2016
							22	Frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							21	Lavastoviglie	03/06/2015	22/09/2016
							24	Lavatrice	03/06/2015	22/09/2016
							20	Sala Giochi	03/06/2015	22/09/2016
							23	SmartInfo	03/06/2015	22/09/2016
19	Zona TV	08/06/2015	22/09/2016							
102	ENERGY@HOME	Olgiate Olona	Varese	3	4,5	No	61		-	-
							32	Compressore	07/06/2015	15/09/2016
							30	Contatore	03/06/2015	22/09/2016

								Enel		
							31	Ferro da stiro	03/06/2015	22/09/2016
							34	Forno	03/06/2015	22/09/2016
							36	Frigorifero	03/06/2015	22/09/2016
							33	Lavastoviglie	03/06/2015	22/09/2016
							35	Televisione ed altro	03/06/2015	15/09/2016
							29	Whitegood 1	05/11/2015	15/09/2016
<b>126</b>	ENERGY @HOME	Caluso	Torino	5	4,5	No	63		-	-
							64		-	-
							65		-	-
							67		-	-
							41	Congelatore	10/06/2015	06/01/2016
							39	Contatore Enel	06/06/2015	22/09/2016
							40	Lavastoviglie	-	-
							38	Lavatrice	06/06/2015	07/06/2015
<b>127</b>	ENERGY @HOME	Cerreto d'Esi	Ancona	2	3	No	73		-	-
							46	forno	05/06/2015	24/07/2016
							43	frigo	05/06/2015	22/09/2016
							47	lavatrice	05/06/2015	22/09/2016
							48	macchina da caffè	05/06/2015	17/08/2016
							44	smart info	05/06/2015	22/09/2016
							45	tostapane	05/06/2015	24/07/2016
							42	tv	05/06/2015	22/09/2016
<b>107</b>	ENERGY @HOME	Fabriano	Ancona	4	4,5	Si	52		-	-
							57		-	-
							59		-	-
							53	congelatore	08/06/2015	22/09/2016
							55	frigorifero	-	-
							58	macchina caffè	-	-
							51	presa esterna	-	-
							56	smart info fotovoltaico	08/06/2015	22/09/2016
							54	smart info scambio	08/06/2015	30/08/2016
<b>232</b>	ENERGY @HOME	Pesciera Borromeo	Milano	4	6	Si	72		-	-
							70	Fotovoltaico	01/12/2014	22/09/2016
							71	SmartInfo scambio (immessa)	01/12/2014	22/09/2016
							71	SmartInfo scambio (consumata)	07/08/2015	22/09/2016
<b>42</b>	ENERGY		Pordenone	2	6	Si	94		-	-

	@HOME						89	Casa Arigo	19/10/2015	22/09/2016
							83	Dish Washer	09/03/2016	22/09/2016
							91	Fridge	19/10/2015	22/09/2016
							84	FV Meter	19/10/2015	22/09/2016
							86	Marmony heater	-	-
							91	Meter Scambio immeso	19/10/2015	22/09/2016
							92	Meter Scambio consumato	19/10/2015	22/09/2016
							90	MyDairy	-	-
							88	Oven	19/10/2015	22/09/2016
							93	TV Set	19/10/2015	08/09/2016
							85	WM AEG	19/10/2015	22/09/2016
							87	WM Indesit Aqualtis	19/10/2015	22/09/2016
<b>110</b>	ENERGY @HOME	Scanzorosciate	Bergamo	3	3	No	190		-	-
							98	Banco PC+strument i	09/01/2016	22/09/2016
							99	Metering Device 1	20/10/2015	22/09/2016
							97	SmartPlug 1	20/10/2015	22/09/2016
							95	SmartPlug 2	20/10/2015	22/09/2016
							96	SmartPlug 3	20/10/2015	22/09/2016
							100	Whitegood 1	20/10/2015	22/09/2016
<b>114</b>	ENERGY @HOME	Fabriano	Ancona	2	3	No	106	Forno	20/10/2015	29/10/2015
							104	Frigo	20/10/2015	29/10/2015
							102	Lavastoviglie	20/10/2015	29/10/2015
							103	lavatrice	20/10/2015	29/10/2015
							107	Smart info	20/10/2015	29/10/2015
							101	Zona PC	20/10/2015	29/10/2015
							105	Zona TV	20/10/2015	29/10/2015
<b>115</b>	ENERGY @HOME	Fabriano	Ancona	2	3	No	209		-	-
							113	Forno	-	-
							109	Frigo	-	-
							110	Lavastoviglie	24/04/2016	24/04/2016
							108	lavatrice	14/02/2016	15/02/2016
							114	Smart Info	-	-
							112	Zona PC	-	-
							111	Zona TV	-	-
<b>118</b>	ENERGY @HOME	Jesi	Ancona	3	3	No	117	forno 2	20/10/2015	07/11/2015
							120	frigorifero 3	20/10/2015	07/11/2015
							116	lavastoviglie 1	-	-
							115	smart info 1	20/10/2015	07/11/2015

							119	zona pc 1	20/10/2015	07/11/2015
							118	zona tv 4	-	-
<b>129</b>	ENERGY @HOME	Serra San Quirico	Ancona	2	4,5	No	126		-	-
							218		-	-
							127	Fridge + Freezer	20/10/2015	12/01/2016
							121	Lavastoviglie	20/10/2015	12/01/2016
							123	Microwave	20/10/2015	12/01/2016
							128	Ripetitore 1	-	-
							125	Ripetitore 2	20/10/2015	12/01/2016
							124	SmartInfo	20/10/2015	12/01/2016
							122	UPS + PCs	20/10/2015	12/01/2016
<b>133</b>	ENERGY @HOME	Arpino	Frosinone	6	3	No	212		-	-
							141	Asciugatrice	20/10/2015	22/09/2016
							142	Congelatore	20/10/2015	22/09/2016
							144	Frigo Blu	20/10/2015	22/09/2016
							137	Frigo Giallo	20/10/2015	22/09/2016
							145	Lavatrice	20/10/2015	22/09/2016
							136	Metering Device 1	20/10/2015	22/09/2016
							138	PC	20/10/2015	22/09/2016
							139	Repet	20/10/2015	22/09/2016
							140	TV CRT	20/10/2015	22/09/2016
							143	TV LCD	20/10/2015	22/09/2016 17:58
<b>137</b>	ENERGY @HOME	Civitanova Marche	Ancona	6	3	No	189		-	-
							152	Computer	20/10/2015	22/09/2016
							153	Contatore Enel	20/10/2015	22/09/2016
							148	Depuratore acqua	20/10/2015	22/09/2016
							150	Forno	30/10/2015	22/09/2016
							155	Frigorifero	20/10/2015	22/09/2016
							154	Lavastoviglie	20/10/2015	22/09/2016
							146	Lavatrice	15/11/2015	22/09/2016
							149	Ponte 2	20/10/2015	22/09/2016
							151	TV-WII	20/10/2015	22/09/2016
147	Ventilazione	20/10/2015	22/09/2016							
<b>141</b>	ENERGY @HOME	Fabriano	Ancona	3	3	No	211		-	-
							156	Forno	20/10/2015	22/09/2016
							157	Frigo	20/10/2015	22/09/2016
							160	Lavastoviglie	20/10/2015	22/09/2016
							161	lavatrice	20/10/2015	22/09/2016
							159	PC-Cameretta	20/10/2015	22/09/2016
							162	smart info	20/10/2015	22/09/2016
158	TV-Stereo	20/10/2015	22/09/2016							

<b>152</b>	ENERGY @HOME	Pesciera Borromeo	Milano	3	3	No	215		-	-
							132	Aqualtis	20/10/2015	22/09/2016
							134	Asciugabiancheria Solarex	20/10/2015	22/09/2016
							135	Cantinetta	20/10/2015	22/09/2016
							131	Enel	23/10/2015	03/09/2016
							130	Forno	23/10/2015	22/09/2016
							129	Macchina Caffè	20/10/2015	22/09/2016
							133	Sistema AV	20/10/2015	22/09/2016
<b>157</b>	ENERGY @HOME	Villar dora	Torino	4	3	No	169	computer	20/10/2015	27/07/2016
							170	contatore di scambio	-	-
							168	forno	20/10/2015	27/07/2016
							167	fotovoltaico	20/10/2015	27/07/2016
							164	frigo	20/10/2015	27/07/2016
							165	lavastoviglie	11/12/2015	27/07/2016
							163	lavatrice	20/10/2015	18/04/2016
							166	televisore	20/10/2015	27/07/2016
<b>207</b>	ENERGY @HOME	Torino	Torino	4	3	No	172		-	-
							173		-	-
							174		-	-
							175		-	-
							199		-	-
							171	Lavatrice	20/10/2015	18/01/2016
<b>299</b>	ENERGY @HOME					No	179		-	-
							180		-	-
							178	Lavapiatti	-	-
							181	Lavatrice	-	-
							177	Portatile MP	20/10/2015	11/01/2016
							176	Server + Stampante + WiFi	20/10/2015	04/03/2016
<b>t199</b>	ENERGY @HOME					No	-	-	-	-
<b>t276</b>	ENERGY @HOME					No	-	-	-	-
<b>t273</b>	ENERGY @HOME					No	187	SmartPlug Coffee	-	-
							188	SmartPlug Lab	-	-
<b>t215</b>	ENERGY @HOME					No	186	Frigorifero	-	-
							183	Lavatrice	-	-
							185	Linea normale	-	-
							182	Microonde+caffè	-	-
							184	SmartPlug 1 stampante	20/10/2015	22/09/2016
							205		16/12/2015	23/12/2015

							206		-	-
							207		16/12/2015	23/12/2015
<b>mario.rossi</b>	ENERGY @HOME					Si	217	contatore di produzione	28/04/2014	28/09/2016
							216	contatore di scambio	28/04/2014	28/09/2016
<b>t214</b>	ENERGY @HOME								-	-



## **Ringraziamenti**

Giunto alla fine del mio percorso di studi al Politecnico di Torino, che mi ha permesso di approfondire argomentazioni e nozioni che ho sempre ritenuto interessanti ed importanti, desidero ringraziare tutte le persone che a loro modo hanno contribuito al raggiungimento di questo traguardo.

Desidero innanzitutto ringraziare il mio relatore, il Professor Michele Pastorelli che mi ha seguito durante la preparazione della tesi, aiutandomi anche a distanza e la Professoressa Guglielmina Mutani, corelatore, che mi ha fornito preziosi spunti in fase di elaborazione.

Un ringraziamento particolare va a miei genitori Anna e Francesco, per i quali nutro un profondo sentimento di gratitudine per avermi supportato in questo lungo percorso, non privo di ostacoli, per aver fatto sacrifici affinché raggiungessi questo obiettivo e per avermi insegnato a non mollare.

A mia sorella Isabella, che in questi anni è stata la mia ancora di salvezza e mi ha ascoltato quando ne avevo più bisogno ed è sempre stata pronta a darmi consigli.

Alla mia ragazza Greta che da un anno fa parte della mia vita. Grazie per avermi supportato in questo periodo in cui molte cose sono cambiate, per essermi stata accanto e soprattutto per i tuoi sorrisi ed i tuoi sguardi d'incoraggiamento che per me valgono più di mille parole.