POLITECNICO DI TORINO

Laurea Magistrale in INGEGNERIA EDILE

Monitoraggio e analisi dei consumi di energia termica e di acqua di un insediamento residenziale di social housing

Candidato:

Naso Andrea

Relatore:

Prof. Enrico Fabrizio

Correlatore:

Prof. Marco Filippi

Anno Accademico 2016/2017

Ottobre 2017

Sommario

1. L'Efficienza Energetica degli Edifici Definita in Fase di Certificazione e Calcolata per Mezzo dei Dati Ottenuti dal Monitoraggio Energetico 5

1.1. Performance Gap fra Consumi Energetici Previsti e Consumi Energetici Reali 8

1.2. Il monitoraggio e il Building Management Systems (BMS). 13

2. Il Caso Studio: un Intervento di Social Housing di Grandi Dimensioni nel Nord Italia 20

2.1. Gli Impianti Meccanici 25

3. L'Efficienza Energetica Prevista in Fase di Progetto. 38

3.1. Il Quadro Normativo di Riferimento 38

3.2. Le prestazioni dichiarate a progetto, i consumi energetici previsti e la classe energetica. 45

4. Il Sistema di Monitoraggio Energetico Adottato 56

4.1. Regolazione e monitoraggio per alloggi, edifici e sotto-centrali 58

4.2. I dati raccolti 65

4.3. Esempio applicativo, il calcolo della temperatura esterna medio mensile 73

5. Il Risultato del Monitoraggio. 81

5.1. Consumi di Energia Termica per il Riscaldamento 87

5.2. Consumi di acqua 131

6. Calcolo del Fabbisogno di Energia Termica per la Climatizzazione Invernale e dell'Incidenza dei Principali Fattori di Influenza sui Consumi Energetici. 150

6.1. Fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale secondo la UNI/TS 11300-1 151

6.2. Analisi di sensibilità 195

6.3. Analisi di calibrazione 206

7. Profili di consumi orari medi mensili di ACS e di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva. 213

Riferimenti Bibliografici **220**

Allegati **223**

1. L’Efficienza Energetica degli Edifici Definita in Fase di Certificazione e Calcolata per Mezzo dei Dati Ottenuti dal Monitoraggio Energetico

L'efficienza energetica degli edifici riveste un ruolo fondamentale nell’ottica del perseguimento di uno sviluppo economicamente, ambientalmente e socialmente sostenibile. Assieme al tema della sostenibilità ambientale rappresenta uno degli aspetti prioritari delle attuali politiche mondiali ed europee.

Nella direttiva 2012/27/UE del parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull’efficienza energetica, si legge:

> *L'Unione si trova di fronte a sfide senza precedenti determinate da una maggiore dipendenza dalle importazioni di energia, dalla scarsità di risorse energetiche, nonché dalla necessità di limitare i cambiamenti climatici e di superare la crisi economica. L'efficienza energetica costituisce un valido strumenti per affrontare tali sfide. Essa migliora la sicurezza di approvvigionamento dell'Unione, riducendo il consumo di energia primaria e diminuendo le importazioni di energia. Essa contribuisce a ridurre le emissioni di gas serra in modo efficiente in termini di costi e quindi a ridurre i cambiamenti climatici. Il passaggio a un'economia più efficiente sotto il profilo energetico dovrebbe inoltre accelerare la diffusione di soluzioni tecnologiche innovative e migliorare la competitività dell'industria dell'Unione, rilanciando la crescita economica e la creazione di posti di lavoro di qualità elevata in diversi settori connessi con l'efficienza energetica.*[1]

La normativa incentiva l’incremento dell’efficienza tramite la prescrizione di sempre più elevati standard energetici.

Nell’intento di conseguire tali obbiettivi l’industria della costruzione ha sviluppato tecnologie all’avanguardia e materiali sempre più performanti. Anche i sistemi di produzione dell’energia hanno visto importanti sviluppi, da ricordare, per esempio, l’incremento dello sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile. L’innovazione conseguita nell’edilizia permette quindi di progettare edifici ad alta efficienza energetica. Ma, nell’esigenza di raggiungere un’alta efficienza energetica, è necessario in primo luogo assicurarsi che gli sforzi compiuti in fase progettuale, volti a garantire alte prestazioni, abbiano concreto riscontro durante il ciclo di

[1] Direttiva 2012/27/UE del parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull’efficienza energetica

vita dell'edificio ed in caso contrario permetterne il raggiungimento.

Gli attuali strumenti di simulazione permettono lo sviluppo di calcoli raffinati, in grado di tener in conto di molteplici variabili di influenza sul fabbisogno di energia dell'edificio, spetta ai professionisti saper giungere a soluzioni che possano rispecchiare quelli ottenibili in fase di esercizio. Il monitoraggio energetico supervisiona la qualità del modello di simulazione adottato e delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Da qui la distinzione tra due procedimenti atti alla definizione della prestazione energetica: la certificazione energetica in fase progettuale e la diagnosi energetica basata sul reale consumo dell'edificio nella sua fase di conduzione.

Il livello di prestazione dell'edificio definito nella fase di certificazione si basa su un calcolo definito da metodi approvati da normative e specifiche tecniche. Il calcolo permette di tener conto di diverse variabili di input e stima un fabbisogno di energia dell'edificio. Sulla base del fabbisogno vengono definiti gli indici di prestazione e da qui è possibile avere indicazioni sull'efficienza energetica dell'edificio. Il significato di prestazione si discosta da quello di efficienza in quanto nel suo calcolo compare uno solo dei due termini che definiscono l'efficienza (rapportato all'unità di superfice o volume dell'alloggio). Si può quindi definire l'indice di prestazione di fabbisogno di energia riferito ad un singolo uso dell'edificio (energia termica, energia frigorifera, energia elettrica,) nel caso in cui si tenga conto della sua domanda, e l'indice di prestazione energetica nel caso si consideri la spesa di energia primaria attuata per ottenere il fabbisogno consumato (energia termica, energia frigorifera, ACS).

In fase di conduzione, tramite apposite misurazioni o rilevamento dei dati attuati per mezzo di sistemi di monitoraggio, è possibile definire la reale efficienza energetica degli edifici.

Se in fase di progettazione si valuta una soluzione che, tramite lo sfruttamento degli strumenti sopra definiti, permetta di ottimizzare la prestazione energetica dell'edificio, in fase di conduzione è necessario verificare che il livello di efficienza risultante sia effettivamente raggiunto dall'edificio.

La letteratura riporta diversi esempi di discrepanza tra le reali prestazioni dell'edificio e le prestazioni previste in fase di progetto, questo divario viene denominata *Energy Performance Gap*. Si può verificare che le prestazioni previste non vengano mantenute o addirittura mai raggiunte, o che all'interno di un gruppo di alloggi o edifici uguali siano raggiunte da alcuni e non da altri con differenti percentuali di scostamento.

Sono state riscontrate diverse cause alla base di questo problema[2]. Le cause possono essere raggruppate in tre categorie principali: cause connesse alla fase di progettazione, cause radicate nella fase di costruzione e cause riferibili alla fase operativa[3]. La causa di un problema di efficienza energetica variano da un edificio all'altro e spesso è dovuta ad una combinazione di effetti.

È possibile ricondurre a problemi legati alla fase di progettazione le seguenti cause dell'*Energy Performance Gap*:

- Problemi relativi alla comunicazione tra il committente e i progettisti;
- Problemi legati al reale funzionamento di componenti edilizi impiantistici in grado di garantire, sulla base dei dati riportati sulle schede tecniche, elevate prestazioni;
- Parametri di input utilizzati nei calcoli, riguardanti fattori di complessa previsione quali il comportamento degli occupanti e la gestione dell'edificio. La valutazione energetica dell'edificio si basa su ipotesi di per sé incerte e spesso accade tali ipotesi non corrispondano alla realtà.
- I software utilizzati per la modellazione energetica degli edifici possono portare a eccessive semplificazioni inadatte per specifici edifici. Molti software non consento di visualizzare la logica che governa i calcoli rendendo così molto difficile individuare eventuali errori. È pertanto bene utilizzare software certificati e che permettano di gestire e visionare i calcoli che si effettuano.
- L'incapacità di molti modelli di calcolo di tener conto del deterioramento delle prestazioni del sistema;

La maggior parte dei punti dell'elenco soprastante potrebbero essere esclusi attraverso un più attento controllo della conformità e coerenza delle varie fasi del processo di costruzione dell'edificio. Volendo citare un rapporto di Zero Carbon Hub[4], "i calcoli e la modellazione sono

[2] Anna Carolina Menezes, Andrew Cripps; Dino Bouchlaghem, Richard Buswell, Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupance evaluation data to reduce the performance, Elsevier, 20 dicembre 2011.

[3] Pieter de Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, Elvieser, 2 marzo 2014.

[4] Associazione no-profit creata nel 2008 con lo scopo di conseguire il raggiungimento di edifici ad emissioni zero di carbonio entro il 2016. Carbon Hub ha lavorato con il governo e con l'industria con l'obbiettivo di migliorare le norme sulla costruzione e ridurre i rischi legati all'attuazione della politica sulle ad impatto

spesso separati dalla progettazione e i meccanismi per assicurare che la modellazione sia conforme a ciò che è stato costruito sono deboli".

Un diverso gruppo di cause del *Energy Performance Gap* deriva dal processo di costruzione.

Fra le cause rientranti in questo gruppo si elenca:

- La qualità con cui sono stai eseguiti i lavori di costruzione. Lacune nell'isolamento o ponti termici sono molto comuni nella gran parte degli edifici e non adeguatamente considerati in fase di progetto.
- Variazioni in corso d'opera possano comportare divergenze significative rispetto a quanto previsto inizialmente;

Un ultimo gruppo può essere ricondotto alla fase di conduzione:

- La gestione inefficace o inappropriata degli impianti. È fondamentale durante la fase di gestione dell'edificio effettuare frequenti controlli degli impianti e diagnostiche complete ad intervalli regolari.
- Il comportamento degli occupanti. Si è riscontrato da diverse analisi che il comportamento degli occupanti sia tra le principali cause di aggravio dei consumi. Gli occupanti hanno il diretto controllo su dispositivi regolazione e il loro intervento può influenzare le condizioni interne degli edifici in vari modi: apertura delle finestre, controllo delle schermature solari mobili, manomissione dei terminali dell'impianto di ventilazione meccanica, ecc.. Se da un lato è molto importante riuscire a valutare condizioni che meglio rispecchino il reale comportamento degli occupanti al fine di non falsare gli esiti delle simulazioni di consumo, dall'altro è altrettanto importante la formazione e l'educazione degli utenti al fine evitare sprechi di energia e aumentare l'efficienza energetica degli edifici.

1.1. Performance Gap fra Consumi Energetici Previsti e Consumi Energetici Reali

Nel 2008 il Royal Institute of British Architects (RIBE) e il Chartered Institution of Building

ambientale zero.

Services Engineers (CISBE) hanno pubblicato il risultato di uno studio condotto sulla differenza fra i consumi previsti in fase progettuale e quelli reali in tre settori dell'edilizia: scuole, uffici e campus universitari. I dati sono stati ricavati da una piattaforma on-line chiamata Carbonbuzz [5]in cui i gestori possono caricare anonimamente e gratuitamente i dati dei consumi degli edifici. Un audit delle informazioni ottenute grazie alla piattaforma, visibili nel grafico sottostante, ha rivelato che i consumi elettrici reali sono approssimativamente del 60%-70% più alti di quelli previsti nelle scuole e negli edifici per uffici e del 85% maggiori nei campus[6].

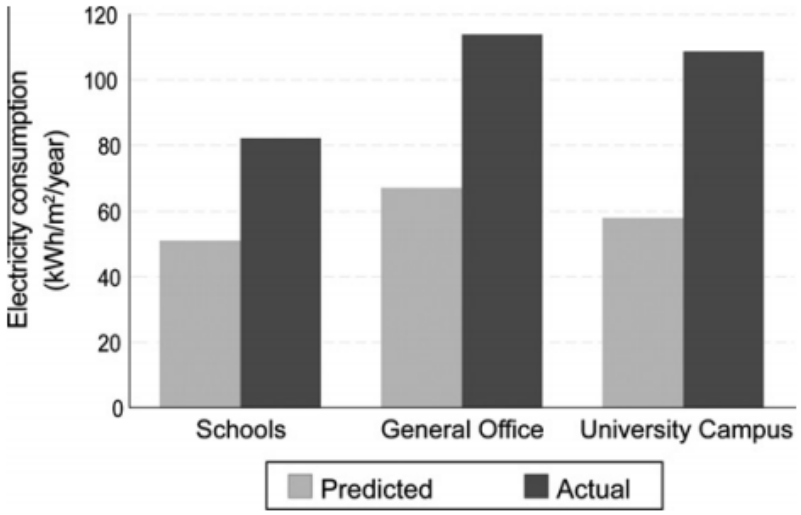


Figura 1.1: Consumi medi reali e previsti per categoria pubblicati da Carbonbuzz

I risultati sono stati nuovamente confermati dalla seconda edizione dello studio effettuato dagli stessi enti nel 2013[7]. Si è calcolato un *Performance Gap*, ovvero un fattore di incremento dei consumi reali rispetto a quelli previsti, del 1.7 (70%) nelle scuole e addirittura del 1.9 (89%) negli uffici. Dal medesimo studio è risultato che una componente importante del divario fra i consumi è dovuta alla così detta "energia non regolamentata", ovvero all'energia consumata da tutte le apparecchiature non considerate nei calcoli energetici come computer, stampanti, apparecchiature elettriche e alcuni elettrodomestici.

[5] CarbonBuzz è una piattaforma RIBA CIBSE per il benchmarking e il monitoraggio dell'utilizzo di energia nei progetti dal design al funzionamento. La piattaforma consente agli utenti di confrontare il fabbisogno energetico con l'effettivo utilizzo dell'energia misurato in molti edifici e di approfondire la tematica dell'energy performance gap.

[6] Anna carolina Menezes, Andrew Cripps; Dino Bouchlaghem, Richard Buswell, Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupance evaluation data to reduce the performance gap, Elsevier, 20 dicembre 2011.

[7] Suzaini M. Zaid, Amir kiani, Energy Prediction versus Energy Performance of Green Buildings in Malaysia. Comparison of Predicted and Operational Measurement of GBI Certified Green Office in Kuala Lumpur, Matec Web Conferences, 2016.

Building Sector	Median Electricity Consumption (kWh/m2/year)		Factor Change Design to Actual – 'Performance Gap'	Differen-ce (%)
	Predict-ed	Actual		
Schools	71	121	1.71	70%
General Office	56	106	1.90	89%

Figura 1.2: Consumi medi reali e previsti per settore pubblicati da Carbonbuzz

Non solo per quanto riguarda l'energia elettrica ma anche per quanto riguarda l'energia termica e il consumo di acqua sono stati riscontrati diversi casi in cui si è misurato un divario fra i reali consumi e quelli attesi.

Uno studio condotto dal Politecnico di Milano su un edificio ad alte prestazioni energetiche ad uso residenziale (social housing) collocato a Milano ha rilevato una divergenza tra le reali prestazioni dell'edificio e quelle previste in fase progettuale[8]. Ha inoltre riscontrato una divergenza dei consumi fra appartamenti identici dell'edificio a causa del differente comportamento degli utenti. Nella figura 1.3 sono riportati i consumi misurati di energia termica rapportati ai m^2 degli alloggi. Gli appartamenti nella stessa colonna sono identici e tranne quello all'ultimo piano e quello a pino terra, caratterizzati da una maggior superfice disperdente (il primo ha la soletta superiore confinante con l'ambiente esterno e l'ultimo ha la soletta di pavimento confinante con il terreno), dovrebbero avere consumi approssimativamente uguali. Risultano invece notevoli difformità tra i valori di consumo di energia termica per riscaldamento contenuti nella stessa colonna. L'analisi è stata poi approfondita per tre appartamenti. Si è riscontrato così una coerenza fra il consumo di energia termica per riscaldamento previsto in fase progettuale e i valori misurati, riportando il consumo reale al valore che si sarebbe dovuto ottenere se la temperatura all'interno degli alloggi fosse stata mantenuta a 20°C (come previsto da norma). Questa analisi mette in luce come le modalità di conduzione degli appartamenti possano quindi influire sulle prestazioni energetiche dell'edificio.

[8] Giuliano Dall'O', Luca Sarto, Annalisa Galante, Giulia Passetti, Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy), Elsevier, 28 novembre 2011.

	FACADE A		FACADE B						FACADE C							FACADE D	
F8	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC				ATTIC	ATTIC
F7	F7-01	F7-02	F7-02	F7-03	F7-04	F7-05	F7-06	F7-07	F7-07	F7-08	F7-09	F7-10				F5-12	F5-13
	23,72	**0,00**	**0,00**	**38,10**	**56,94**	**32,92**	**42,39**	**41,72**	**41,72**	**0,00**	**52,68**	**47,50**	ATTIC	ATTIC		**21,18**	**53,52**
F6	F6-01	F6-02	F6-02	F6-03	F6-04	F6-05	F6-06	F6-07	F6-07	F6-08	F6-09	F6-10	F6-11	F6-12		F4-12	F4-13
	59,26	**49,97**	**49,97**	**32,49**	**36,17**	**21,73**	**27,02**	**0,00**	**0,00**	**34,71**	**0,00**	**0,00**	**32,30**	**0,00**	ATTIC	**9,68**	**27,32**
F5	F5-01	F5-02	F5-02	F5-03	F5-04	F5-05	F5-06	F5-07	F5-07	F5-08	F5-09	F5-10		F5-11	F5-12	F3-12	F3-13
	37,98	**42,76**	**42,76**	**8,32**	**30,47**	**3,37**	**21,15**	**0,00**	**0,00**	**43,82**	**20,03**	**27,41**		**32,86**	**21,18**	**38,23**	**39,88**
F4	F4-01	F4-02	F4-02	F4-03	F4-04	F4-05	F4-06	F4-07	F4-07	F4-08	F4-09	F4-10		F4-11	F4-12	F2-12	F2-13
	0,00	**0,00**	**0,00**	**52,98**	**26,00**	**23,14**	**55,58**	**52,51**	**52,51**	**32,62**	**61,86**	**23,84**		**22,23**	**9,68**	**37,96**	**27,95**
F3	F3-01	F3-02	F3-02	F3-03	F3-04	F3-05	F3-06	F3-07	F3-07	F3-08	F3-09	F3-10		F3-11	F3-12	F1-12	F1-13
	42,69	**0,00**	**0,00**	**28,51**	**39,94**	**37,99**	**23,27**	**20,35**	**20,35**	**1,29**	**0,00**	**33,08**		**33,06**	**38,23**	**0,00**	**33,96**
F2	F2-01	F2-02	F2-02	F2-03	F2-04	F2-05	F2-06	F2-07	F2-07	F2-08	F2-09	F2-10		F2-11	F2-12	F0-10	F0-11
	56,24	**0,00**	**0,00**	**48,07**	**2,21**	**32,36**	**24,38**	**21,47**	**21,47**	**49,64**	**52,74**	**0,00**		**22,18**	**37,96**	**30,51**	**39,43**
F1	F1-01	F1-02	F1-02	F1-03	F1-04	F1-05	F1-06	F1-07	F1-07	F1-08	F1-09	F1-10		F1-11	F1-12		
	39,52	**4,15**	**4,15**	**40,87**	**34,09**	**30,18**	**29,41**	**36,97**	**36,97**	**7,72**	**43,36**	**37,87**		**0,00**	**0,00**		
F0	F0-01	F0-02	F0-02	F0-03	F0-04	F0-05	F0-06		F0-06	F0-07	F0-08		F0-09		F0-10		
	62,44	**62,44**	**62,44**	**48,91**	**55,27**	**38,51**	**38,42**		**38,42**	**56,11**	**44,43**		**46,02**		**30,51**		

Figura 1.3. Consumi di energia termica in kWh/ m^2 rilevati nei diversi appartamenti dell'edificio ad alte prestazioni energetiche di Milano misurati nel periodo 1/1/2011-15/4/2011.

Uno studio condotto su un edificio dell'università di Plymouth (Roland Levinsky Building) ha rilevato un *Energy Performance Gap* tra le prestazioni simulate con Energy Plus e quelle misurate visibile nella tabella sottostante[9].

	Gas (kWh/annum)	Elec HVAC (kWh/annum)	Elec total (kWh/annum)
Simulated	$2.75 \pm 0.50 \times 10^5$	$3.80 \pm 0.80 \times 10^5$	$1.23 \pm 0.08 \times 10^6$
2011	8.81×10^5	1.20×10^5	1.19×10^6
2012	6.68×10^5	1.29×10^5	1.21×10^6

Figura 1.4. Confronto dei consumi previsti e misurati nell'edificio dell'università del Plymouth di gas utilizzato per riscaldamento, di energia elettrica utilizzata dall'HVAC e di energia elettrica totale consumata.

Molto interessante è la prova che è stata condotta a seguito del confronto fra i dati visibili nella Tabella 1.4. Se la simulazione effettuabile in fase di progettazione, dove i dati climatici e i dati riguardanti le modalità di occupazione e conduzione dell'edificio sono stimati, ha portato ad un risultato di fabbisogno di energia per riscaldamento che discosta di un fattore tre dal reale, la simulazione dei consumi (effettuata con il software Energy Plus) inserendo i reali dati climatici e i dati, rilevati nel periodo di misura, riguardanti il comportamento degli occupanti ha portato ad un risultato che discosta non più del 40% dai valori misurati.

Ciò conferma che la scelta dei dati di input da utilizzare nella simulazione energetica è un'operazione molto delicata, da svolgere con molta attenzione, che può condure a risultati non

[9] Pieter de Wilde, Roby Jones, The building energy perormance gap: up close and personal, Reserchgate.net, Aprile 2014.

veritieri. L'autore dello studio suggerisce che un approccio fondamentale per affrontare le incertezze legate alla progettazione energetica è lo studio della incremento/decremento del fabbisogno in seguito alla variazione, entro determinati range, dei dati di input. Quest'analisi può essere effettuata anche nello studio del consumo reale dell'edificio imponendo una variazione dei dati rilevati per coprire le incertezze legate alla misurazione. Si può ricavare, in questo modo, due distribuzione densità di probabilità: una del consumo energetico frutto del monitoraggio e una del fabbisogno calcolato in fase di progettazione. Il confronto deve poi avvenire fra le due funzioni densità di probabilità tramite test statistici.

Uno studio volto a determinare l'incidenza dei parametri di input su un modello di simulazione energetica sviluppato su Energy Plus ha mostrato che una ridotta variazione dei dati di input può condurre a risultati notevolmente differenti[10].

Al fine di approfondire l'analisi dei consumi di energia rilevati nel Roland Lewinsky Building è stata variata la risoluzione temporale di calcolo[11]. Il confronto fra valori mensili ha evidenziato una correlazione tra l'andamento della temperatura esterna e *l'Energy Performance Gap.* Come visibile in Figura 1.5 il consumo di energia nei due anni di misura è coerente, con linee di tendenza quasi sovrapposte. La linea di tendenza della simulazione effettuata con Energy Plus tuttavia è notevolmente diversa. Emerge che il valore del *gap* aumenta linearmente al diminuire della temperatura esterna media mensile. Alla temperatura di 16-18 °C le due linee di tendenza hanno un punto in comune; questa situazione rappresenta il caso in cui il fabbisogno di energia per riscaldamento è nullo. Questo risultato è importante per la creazione di modelli di calibrazione che permettano di migliorare le simulazioni effettuate tramite software di analisi energetica.

[10] B.D. Lee, Yuming Sun, Godfried Augenbroe, Christiaan Paredis, Towards better prediction of building performance: a workbench to analyse uncertanty in building simulation, Reserchgate.net , gennaio 2013

[11] Pieter de Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, Elvieser, 2 marzo 2014.

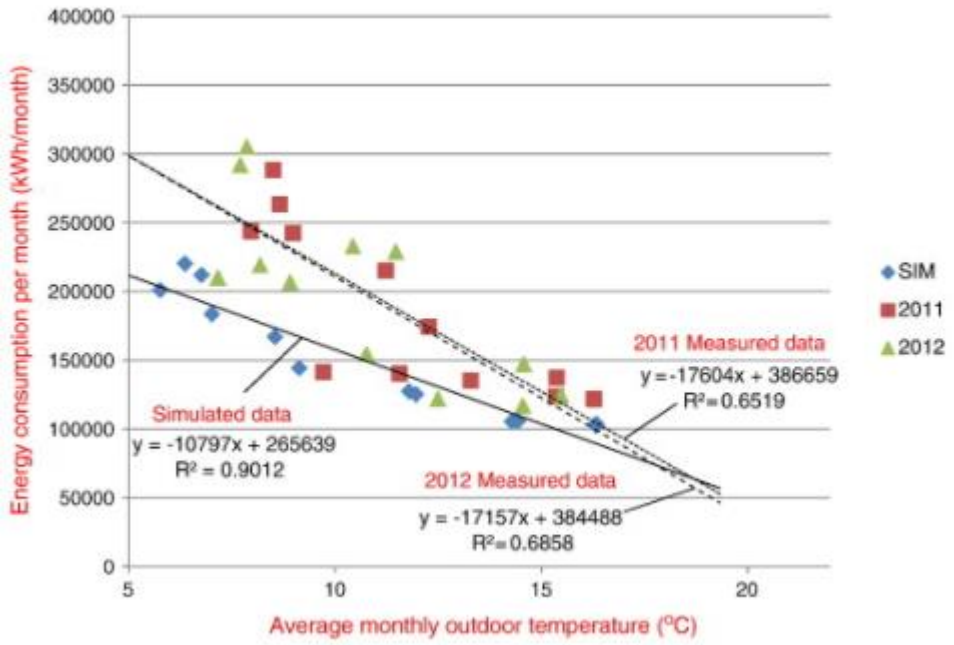


Figura 1.5. Confronto dei dati di consumo di energia termica misurata e simulata in funzione dell'andamento della temperatura esterna.

1.2. Il monitoraggio e il Building Management Systems (BMS).

R. S. Kaplan ideò una strategia innovativa di gestione delle imprese basandosi sul motto "Non si può gestire ciò che non si può misurare e non si può misurare ciò che non si può descrivere". Questa filosofia si adatta perfettamente anche all'*energy managenment*.

La rilevazione dei dati di consumo, dei dati relativi alle modalità di occupazione e gestione dell'edificio nonché della reale performance dell'immobile è utile per più scopi suddividibili in due raggruppamenti: feedback sulla progettazione e gestione dell'edificio. Rientra nel primo gruppo:

- Valutazione di parametri di input più realistici da utilizzare nei calcoli energetici;
- L'ottenimento di informazioni necessarie allo sviluppo di metodi atti a rappresentare al meglio il funzionamento effettivo dell'edificio;
- Validazione dei calcoli effettuati in fase progettuale;

È inoltre molto importate per un'ottimale gestione dell'edificio, volta al conseguimento dell'accrescimento dell'efficienza energetica, l'ottenimento dei dati che consentono agli energy manager e ai manutentori e di incrementare la qualità del loro operato.

Per venire incontro a questa esigenza i sistemi di controllo, automazione e regolazione di

tutti i dispositivi e impianti dell'edificio si sono via via evoluti, migliorando la loro efficacia ed efficienza. A partire da strumenti per applicazione dedicata ad una singola funzione, si è giunti a sistemi che permettono la loro integrazione e lo sviluppo di tutta una serie di operazioni supplementari come la raccolta dati e la generazione di analisi e statistiche.

Nello schema sottostante è visibile l'evoluzione effettuata nel tempo dei sistemi di controllo e automazione degli edifici grazie alla loro integrazioni con quote sempre maggiori di componenti elettronici.

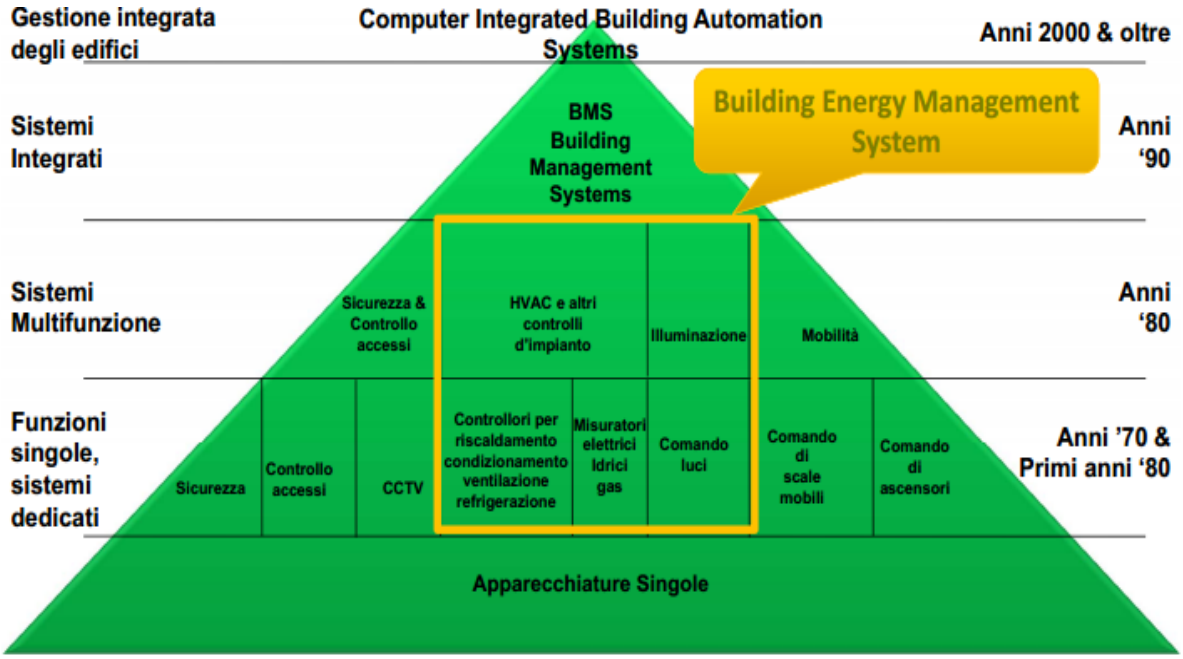


Figura 1.6: Schema a piramide sull'evoluzione dei sistemi di automazione e controllo degli edifici

Questi sistemi di automazione e controllo vengono anche definiti HBA (home and buiding automation) e con essi si riferisce all'insieme delle soluzioni di controllo, supervisione, monitoraggio e misura degli impianti di un edificio. La loro applicazione può essere limitata ad un solo gruppo impiantistico, spesso accade che controllino solo gli impianti di HVAC, o alla totalità, ovvero ai seguenti sottoinsiemi di impianti:

- Safety, comprendente gli impianti di rilevazione incendi e rilevazione gas, spegnimento automatico e diffusione sonora per l'evacuazione;
- Security, comprendente l'impianti antintrusione, videosorveglianza, telecamere (CCTV) e controllo accessi;
- Illuminazione: sottoinsieme di regolazione e controllo dei sistemi di

illuminazione ordinaria e di emergenza, e impianti intelligenti per lo sfruttamento dell'illuminazione naturale gratuita;

- HVAC, impianti meccanici;
- Impianti elettrici: cabine elettriche, gruppi di soccorso, quadri di distribuzione, ecc.;
- Altri sottoinsiemi impiantistici quali impianti per la gestione del personale, verifica delle presenze, controllo ascensori, scale mobili, ecc.

Ogni sistema è composto da diversi dispositivi e specifici strumenti che assolvono diversi compiti. Si può parlare di sistema nel momento in cui questi, collegati fra di loro, possono scambiarsi informazioni e concorrere allo svolgimento dei diversi compiti per cui sono stati progettati. I vari componenti di cui il sistema è composto possono essere suddivisi gerarchicamente in cinque livelli:

- Livello 0: dispositivi in campo per acquisizione delle informazioni e attuazione dei comandi ricevuti. I principali dispositivi sono i sensori che rilevano grandezze fisiche nell'ambiente circostante (temperatura, luminosità, ecc.), dispositivi di comando come pulsanti ed interruttori che rilevano comandi manuali effettuati dall'utente, attuatori che eseguono ordini ricevuti da altri dispositivi (per esempio chiusura o apertura valvole) e terminali di impainto come telecamere e altoparlanti. Ogni elemento deve essere identificato in maniera univoca.
- Livello 1: rete di comunicazione, costituita da un BUS di campo. Il BUS (binary unit system) viene definito come il canale o mezzo per la comunicazione dei dati tra i vari dispositivi in campo. Con sistema BUS si intende l'insieme dei dispositivi in campo e delle loro interconnessioni, in grado di realizzare applicazioni utilizzando uno o più supporti di comunicazione. Per la trasmissione dei dati il BUS si serve di standard o protocolli di comunicazione che definiscono l'insieme delle regole che governano il passaggio delle informazioni e la modalità di attuazione delle transizioni dati. I principali standard usati nel *building automation* sono X10, KNX, BACnet, Lonworks, Modbus, Z-Wave, M-Bus, Ethernet, ARCNET e ZigBee. Le

tecnologie di rete che consentono la connessione possono essere costituiti sia da mezzi fisici (come nel caso di Ethernet, ARCNET, M-Bus), sia ottici, sia wireless.

- Livello 2: Sistemi di controllo periferici, per la gestione autonoma dei singoli impianti controllati anche in caso di mancanza di connessione con livelli superiori. Sono inclusi nel secondo livello anche i dispositivi hardware e server che archiviano i dati in databaese.
- Livello 3: rete LAN per il collegamento tra sistemi periferici di controllo e il sistema di controllo centrale;
- Livello 4: sistema centrale di controllo che effettua la supervisione e gestisce gli impianti tramite sistemi periferici di controllo, garantisce la raccolta degli venti e allarmi, la loro analisi e la loro archiviazione. Permette la configurazione completa del sistema con supporti grafici, e la generazione di analisi e statistiche.

Le norme e specifiche tecniche, seppure a rilento nonostante l'evoluzione che questi sistemi stanno avendo, hanno recepito l'argomento e si stanno evolvendo per permette una regolamentazione e concorrere a disciplinare questo importante arricchimento tecnologico dell'edificio.

Nell'articolo 8 della Direttiva 2010/31/CE si legge:

> *Gli Stati membri promuovono l'introduzione di sistemi di misurazione intelligenti quando un edificio è in fase di costruzione o è oggetto di una ristrutturazione importante (...) Gli Stati membri possono inoltre promuovere, se del caso, l'installazione di sistemi di controllo attivo come i sistemi di automazione, controllo e monitoraggio finalizzati al risparmio energetico.*[12]

I sistemi di gestione, monitoraggio e automazione degli edifici sono fondamentali per il conseguimento di alti livelli di efficienza energetica e alcune norme hanno provveduto a definire i requisiti e obblighi degli edifici in quest'ambito.

I requisiti minimi sulla classe di automazione sono definiti dal D.M. 26 giugno 2015 per gli edifici non residenziali e dal DL 63/2013 per gli edifici ad energia quasi zero nZEB. Tra le

[12] Direttiva 2010/31/EU del parlamento europeo e del consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia, articolo 8

normative tecniche di riferimento per i sistemi di gestione, monitoraggio e automazione si può elencare le Guide CEI 306-2, 64-100/1, 64-100/2 e 64-100/3 e la UNI EN 15232.

Da ricordare è anche la FprEN 15378 parte tre e parte quattro. Questo standard europeo specifica il metodo per valutare le prestazioni energetiche degli edifici nella climatizzazione invernale e consumo di acqua calda sanitaria a partire dai dati ottenuti dal sistema di monitoraggio. Questa norma permette perciò di regolamentare l'analisi e i calcoli eseguibili dagli *energy manager* sui dati ottenuti dal monitoraggio, validando l'utilizzo dei sistemi oggetto di discussione per il calcolo dell'*energy performance* dell'edificio.

Vengono definiti dalle normative i seguenti termini:

- HBES, home and building electronic system, "un sistema elettrico/elettronico che ha come obbiettivo quello di controllare e comandare, in maniera automatizzata o no, un insieme integrato di funzioni in edifici ad uso residenziale civile, terziario o industriale".[13]
- BACS, building automation and control system, un sistema conforme alle EN ISO 16484 relative all'automazione e controllo degli impianti meccanici HVAC. È un sistema di livello superiore, che interfacciato con i singoli sistemi di HBES e metering presenti nell'edificio e permette la supervisione e il controllo.
- TBM (technical building management), la parte di gestione dell'edificio (BM) relativa al funzionamento, manutenzione e gestione degli impianti tecnici al fine di controllare la loro efficienza energetica. Comprende operazioni di misura, registrazione e verifica della tendenza dei consumi, rivelazione degli allarmi e diagnostiche

Le norme CEN/CENELEC EN 5049 General requirements for Home and Building Electronic Systems (HBES) and Building Automation and Control Systems (BACS) unificano le due serie di norme che trattano separatamente i sistemi HBES e BACS conducendo ad un'armonizzazione dei due impianti.

La Norma europea UNI EN 15232 "Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management" definisce i metodi per la valutazione del risparmio energetico conseguibile in edifici ove vengano impiegate tecnologie di gestione e

[13] Norma CEI 205-2 – Guida ai sistemi bus su doppino per l'automazione nella casa, del CT 205

controllo automatico degli impianti tecnologici e dell'impianto elettrico.

Viene quindi specificato come quantificare attraverso due procedure (procedura semplificata o dettagliata) il risparmio ottenibile grazie a sistemi di gestione e controllo degli impianti BMS o BACS e HBES ed è valida sia per nuovi edifici che per edifici esistenti.

La norma pone innanzitutto in evidenza come l'inserimento in edifici di sistemi di automazione e controllo permettano il risparmio energetico per le principali fonti di consumo:

- Riscaldamento;
- Raffrescamento;
- Ventilazione;
- Illuminazione;
- Produzione acqua calda sanitaria;
- Gestione tecnica dell'edificio.

Il principale risparmio è conseguito negli impianti fissi, ovvero a tutti quegli impianti (come quelli sopra elencati) per i quali è prevedibile o addirittura previsto il ciclo di funzionamento ed alimentano i servizi tecnici o servizi energetici di un edificio. Questi si differenziano dagli impianti caratterizzati dall'aleatorietà dei cicli di funzionamento e che spesso hanno come terminali prese elettriche di utenza (PC; cottura; lavaggio).

La norma UNI 15232 definisce quattro classi di efficienza (A, B, C, D) per la classificazione dei sistemi di automazione degli edifici valide sia per le applicazioni residenziali che non residenziali:

- La classe D corrisponde a sistemi BACS non efficienti. Questi edifici devono essere adeguati e non è possibile realizzare nuovi edifici in tale classe;
- La classe C corrisponde a sistemi BACS di tipo standard;
- La classe B corrisponde a sistemi di tipo avanzato e specifiche funzioni TBM;
- La classe A corrisponde a sistemi BACS e TBM ad alte prestazioni energetiche;

Le funzioni che caratterizzano ogni classe di efficienza sono elencate e descritte in apposite tabelle contenute nella norma.

I due metodi di calcolo proposti dalla norma sono stati pensati per poter essere applicati in

diverse fasi della vita di un edificio:

- Il calcolo dettagliato presuppone una conoscenza completa del sistema, cioè devono essere già stabilite tutte le funzioni di controllo, gestione e comando degli impianti;
- Il calcolo basato sui fattori di efficienza "BAC factor" è effettuato su base statistica e consente di effettuare valutazioni anche in fase iniziale di progetto e predisposizione del sistema. Questo sistema permette di calcolare in via semplice e rapida l'impatto di sistemi HBES e BACS sulle prestazioni energetiche nell'arco di un anno. I BAC factor sono stati calcolati confrontando il consumo annuale di energia di un locale standard con quello successivo all'installazione di un sistema di automazione secondo diverse classi di efficienza nelle stesse condizioni al contorno. I fattori così calcolati sono riportati in tabelle in funzione del tipo di locale (residenziale o non residenziale), della tipologia di impianto (riscaldamento, raffrescamento, elettrico) e delle diverse classi di efficienza energetica del sistema di automazione.

2. Il Caso Studio: un Intervento di Social Housing di Grandi Dimensioni nel Nord Italia

Verrà analizzato dal presente trattato un insediamento residenziale, di recente realizzazione, situato in Nord Italia. Il complesso di edifici rientra nella tipologia di interventi immobiliari denominata social housing.

Per meglio comprendere la tipologia di utenza insediata in questa categoria di abitazioni verrà brevemente esposta la definizione di edilizia residenziale sociale, o housing sociale. Il social housing consiste nell'offerta di alloggi e di servizi abitativi a prezzi contenuti, destinati ai cittadini con reddito medio basso considerati in disagio abitativo o fondazioni, sgr, cooperative che risultino che risultino in possesso dei criteri definiti per l'aggiudicazione. Il disagio abitativo definisce le famiglie per le quali l'incidenza dell'affitto o del mutuo per l'acquisto della casa supera il 30% del reddito[14]. La Banca d'Italia ha stabilito infatti che la presenza congiunta di una rata per il rimborso dei prestiti superiore al 30 per cento del reddito e da un reddito monetario inferiore a quello mediano (condizione che contraddistingue il 2% del totale delle famiglie) definisce la condizione di vulnerabilità finanziaria.[15]

A partire dalla crisi del 2007 molte famiglie di fascia medio bassa, le quali non avevano grossi problemi finanziari, si sono ritrovate in disagio abitativo. L'housing sociale è nato per venire incontro a questo problema: si rivolge quindi a coloro che non riescono ad accedere al mercato abitativo ma non hanno nemmeno accesso all'edilizia sociale perché, seppure basso, il loro reddito supera i limiti imposti per averne diritto.

Il social housing ha lo scopo di garantire integrazione sociale e favorire il benessere abitativo, proponendo agevolazioni solle proposte di contratto che variano tra le seguenti:

- Affitto a canone calmierato con contratto di locazione a uso abitativo;
- Acquisto a prezzo convenzionato: l'acquisto a prezzo convenzionato è rivolto a coloro che sono interessati ad acquistare una casa in proprietà a prezzi contenuti, secondo le modalità e criteri stabiliti in una convenzione con il comune dove è situato l'alloggio

[14] Giovanni D'Alessio e Romina Gambacorta, Questioni di economia e finanza (*Occasional paper*) L'accesso all'abitazione di residenza in Italia, luglio 2007, Banca d'Italia.

[15] Supplementi al Bollettino Statistico, I bilanci delle famiglie italiane nell'anno 2014, 3 dicembre 2015, Banca d'Italia.

- Affitto con possibilità di acquisto o affitto con patto di futura vendita: contratto in cui il locatore e il conduttore stabiliscono che al termine della locazione l'alloggio passi di proprietà al conduttore ad un prezzo già determinato, coperto in parte dall'affitto e in parte dal saldo dell'importo.

Il complesso di edifici è collocato in un'area appartenete alla Pianura Padana a circa 135 m s.l.m. Si tratta di un intervento di nuova costruzione i cui lavori sono conclusi nel 2015. Gli edifici, progettati per raggiungere elevate prestazioni energetiche, sono divise in otto condomini. Ogni gruppo di edifici comprende una o più palazzine di varie dimensioni e altezze che si distribuiscono su un lotto di circa 48.500 mq. Gli edifici circoscrivono aree aperte permeabili, orti urbani, orti didattici, aree gioco bambini e spazi pubblici per un totale di circa 27.500 mq. Il costruito comprendente 323 appartamenti per un totale di circa 29.400 mq di SLP, più spazi per funzioni compatibili con la residenza. Fra queste i locali commerciali coprono un totale di circa 1300 mq spartiti tre nove divise unità collocate al piano terra degli edifici nell'area a nord-est del lotto. Sono inoltre presenti spazi da destinare a servizi locali e urbani (co-lavoro, eco-club e servizi socio-sanitari a supporto del territorio) oltre a servizi integrativi per l'abitare come living room, ufficio portineria, utensileria, locali lavanderia e locali deposito attrezzi per manutenzione: in totale sei unità immobiliari anche identificate come "SLU".

Figura 2.1: rendering sud del caso studi.

Figura 2.2: rendering est del caso studio.

Figura 2.4: fotografia dell'area.

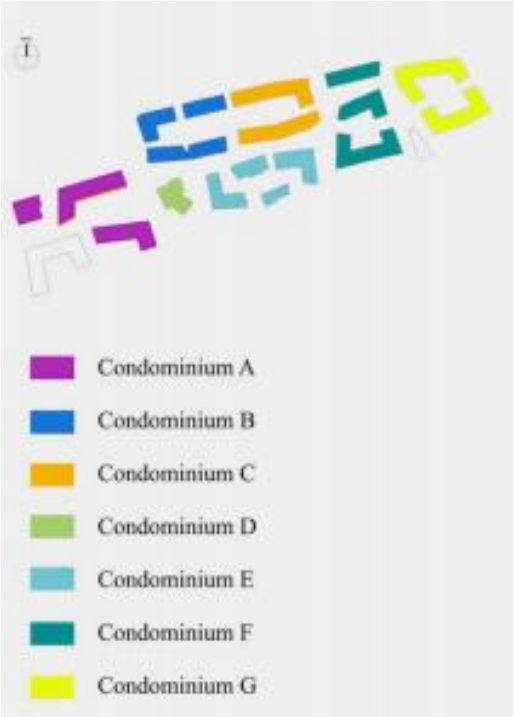


Figura 2.4: schema della suddivisone in condomini

Figura 2.5: identificazione servizi locali ed integrativi

Gli edifici, 20 in totale, nonostante abbiano diversi volumi condividono fra di loro diversi aspetti: adottano tutti la medesima tecnologia costruttiva, i medesimi materiali e tecnologie impiantistiche. L'obiettivo perseguito è stato quello di garantire sia qualità abitativa che abitazioni economiche, semplici e veloci da assemblare. Composti da spazzi standardizzati con dimensioni modulari, gli appartamenti lasciano una grande libertà di composizione agli utenti a seconda delle necessità e dei gusti.

L'unità abitativa si sviluppa partendo da una maglia base di 5 m x 5 m. Moduli che, accostati o sovrapposti, permettono di sviluppare l'abitazione in vario modo. Gli alloggi si suddividono in 3 tipologie di base, che si differenziano per dimensioni a seconda dell'utenza alle quali sono rivolte: monolocali con dimensioni prossime 50 mq, appartamenti adatti a 3-4 persone di circa

75 mq e appartamenti concepiti per le famiglie più numerose di circa 100 mq.

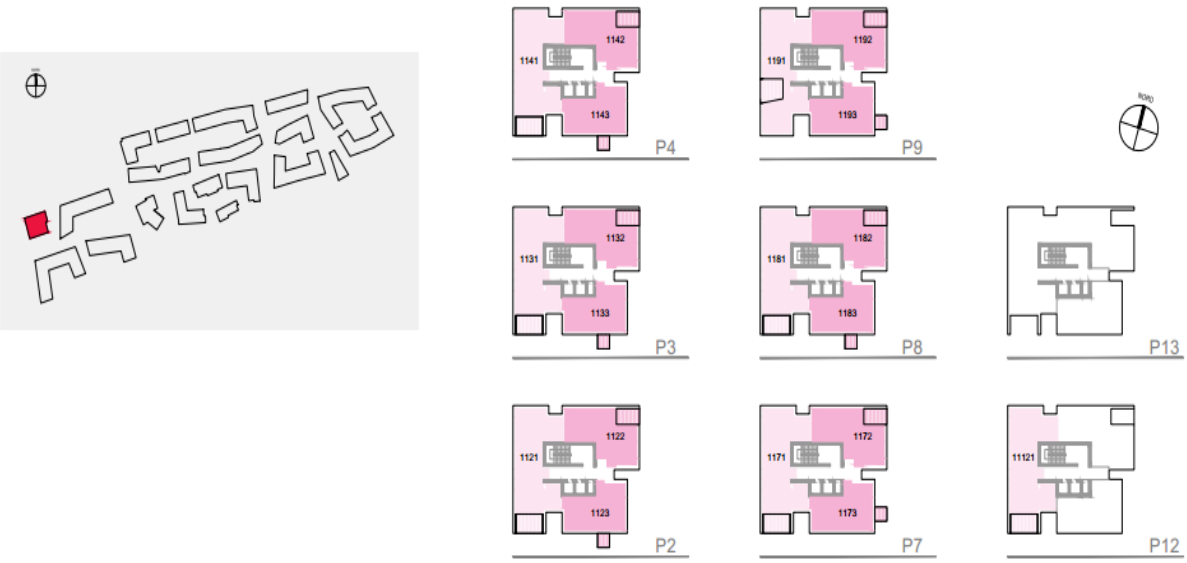


Figura 2.6: piante edificio a torre appartenente al condominio A

Gli edifici sono stati realizzati con telaio strutturale in calcestruzzo armato, involucro esterno in laterizio porizzato, rivestimento isolante a cappotto e copertura piana. Il rapporto superficie su volume S/V è in media pari a 0,55 ed e il grado di isolamento è discreto. Le pareti esterne hanno un valore medio di trasmittanza U uguale a 0.18 W/m^2K, le solette esposte su spazi non condizionate e i tetti piani a 0.24 W/m^2K e le finestre pari a 1.8 W/m^2K.

La presenza dell'isolamento a cappotto permette di ridurre il numero di ponti termici e di sfruttare efficacemente, in abitazioni come quelle oggetto di studio in cui è prevista la dimora abituale e continua delle persone (non sono case secondarie), la massa termica dell'edificio. Le strutture in calcestruzzo dell'edificio consentono infatti all'involucro di comportarsi come una spugna, in grado di assorbire il calore in eccesso prodotto dagli apporti interni durante il giorno e di rilasciarlo durante la notte, quando è necessario per il riscaldamento. In periodo estivo l'elevata massa termica dell'edificio esposta verso l'interno dei locali, permette inoltre di assorbire l'apporto di calore dovuto all'irraggiamento solare in modo da ridurre il carico di picco sugli impianti.

Le superfici esterne delle pareti sono rifinite con intonaco su cui è stata applicata una colorazione chiara che si alterna tra bianco e beige. In zono limitate pannelli prefabbricati effetto marmo di colorazione più scura tendente al nero creano un contrasto fra i colori piacevole alla vista. La finitura di colorazione chiara permette di limitare l'assorbimento solare da parte de componente opaco. La parte prima delle norme 11300 precisa ai punti 5.2.2 e 14.2, ai fini della determinazione del fabbisogno energetico, che nel calcolo degli apporti termici

dovuti alla radiazione solare su componenti opachi è necessario valutare lo specifico coefficiente di assorbimento solare della finitura che, per i comuni materiali da costruzione, dipende principalmente dal colore. Un basso coefficiente, che in mancanza di dati più precisi la stessa norma suggerisce di porre pari a 0,3 per finiture superficiali di colore chiaro, contribuisce alla riduzione dal carico di raffrescamento dell'edificio.

Per le medesime ragioni, anche per lo strato di 8 cm di ghiaia costituente la finitura delle coperture piane degli edifici si è scelto un colore tendente al bianco. Lo strato di ghiaia posto sulle coperture non praticabili permette la protezione dagli agenti atmosferici dell'impermeabilizzazione senza causare un eccessivo aumento di peso. Un maggior approfondimento sulle stratigrafie dei principali componenti dell'involucro edilizio è riportato nel capitolo 3 del presente trattato.

Un aspetto importante è la presenza delle schermature mobili a protezione delle finestre. Si tratta di una protezione in lamiera in grado di scorrere su rotaie. Queste permettono la riduzione degli apporti solari durante la stagione estiva. Il dimensionamento delle componenti vetrate, in modo tale da garantire l'illuminazione degli ambienti con luce naturale, ha infatti lo svantaggio di aumentare notevolmente il carico termico per via degli apporti solari in periodo estivo. Grazie all'installazione delle schermature si è potuto garantire il confort visivo evitando il problema sopra esposto.

Gli appartamenti orientati a sud sono inoltre provvisti di logge esterne che contribuiscono ulteriormente allo sfruttamento intelligente dell'energia solare. Queste schermano i raggi solari in estate, caratterizzati da un maggiore angolo di incidenza con il suolo. Al contrario consentono un accesso diretto della radiazione solare verso gli ambienti climatizzati in inverno, quando l'altezza solare è inferiore, contribuendo in questo modo alla riduzione del fabbisogno energetico.

2.1. Gli Impianti Meccanici

Gli impianti meccanici sono stati progettati nell'intento di minimizzare i consumi energetici sia in periodo invernale che in periodo estivo.

Per soddisfare il fabbisogno di energia termica e frigorifera dell'intero complesso sono state progettate otto sotto-centrali, posizionate a livello dei seminterrati, le quali detengono in comune le medesime scelte impiantistiche. Ogni gruppo di edifici denominato condominio, a cui le sotto-centrali fanno capo, è identificato da una lettera che va dalla "A" alla "H".

Le sotto-centrali sono codificate come:

- Sottocentrale 01 – LOTTO 4 - ED 2/ED 3/ED 6. – Attuale condominio G;
- Sottocentrale 02 – LOTTO 4 - ED 1/ED 4/ED 5. – Attuale condominio F;
- Sottocentrale 03 – LOTTO 2 - ED 3/ED 4. – Attuale condominio C;
- Sottocentrale 04 – LOTTO 2 - ED 1/ED 2. – Attuale condominio B;
- Sottocentrale 05 – LOTTO 3 - ED 2. – Attuale condominio E;
- Sottocentrale 06 – LOTTO 3 - ED 1. – Attuale condominio D;
- Sottocentrale 07 – LOTTO 1 - ED 1/ED 2/ED 4. – Attuale condominio A;
- Sottocentrale 07-LOTTO 1 – Borgo assistito – Attuale condominio H.

La suddivisione in lotti sopra riportata è stata effettuate per favorire il processo di costruzione degli edifici.

Per la produzione di energia termica necessaria al riscaldamento e raffrescamento e per la produzione di ACS si è scelto di utilizzare una strategia impiantistica che prevede lo sfruttamento di Pompe di Calore geotermiche alimentate ad acqua di falda. Per ogni sottocentrale si sono installate due macchine di taglia uguale funzione del totale dei mq da servire. Risulta quindi che le macchine più grandi sono quelle installate nella sottocentrale 7, in grado di erogare una potenza nominale maggiore per poter servire i circa 5500 m^2 a cui fanno capo, mentre quelle più piccole sono installate nella sottocentrale 6. I condomini B, C, E avendo una superficie di circa 3000 m^2 adottano macchine di uguale taglia, mentre i condomini G ed F necessitano di potenze superiori avendo circa 3200 m^2 la prima e 3900 m^2 la seconda da servire.

CONDOMINIO	m^2 SERVITI	SOTTOCENTRALE	PdC A - PdC B potenza termica [kW]	PdC A - PdC B potenza frigorifera [kW]
A	5554,46	S7	185	164
B	3028,7	S4	88.6	78.1
C	3134,65	S3	88.6	78.1
D	575,73	S6	33	29
E	2949,16	S5	88.6	78.1
F	3890,12	S2	131	116
G	3291,53	S1	114	101

Tabella 2.1. Quadro riassuntivo per le PdC installate in ogni condominio

Per il trattamento dell'aria interna alle unità immobiliari si è adottato un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso. Gli impianti di ventilazione sono serviti da UTA che permettono un recupero di calore termodinamico. Il recupero termodinamico attivo recupera l'energia contenuta nel flusso d'aria espulsa, la moltiplica grazie alla tecnologia della pompa di calore e la fornisce all'ambiente servito. Le UTA installate sulle coperture degli edifici sono in totale 27 macchine e variano tra quattro modelli, in grado di erogare diverse potenze, a seconda della cubatura della palazzina di cui sono a servizio.

Figura 2.7. Foto di una centrale termica.

Figura 2.8. Foglio introduttivo tratto dalla scheda tecnica delle UTA Clivet modello Zephir installate.

WSH-XEE WSHN-XEE **82÷802**

HYDRONIC

Refrigeratore d'acqua
WSH-XEE: solo freddo
WSHN-XEE: pompa di calore reversibile
Condensato ad acqua
Installazione interna
Potenze da 38 a 328 kW

ELFOEnergy Ground Medium

ELFOEnergy Ground Medium *è una pompa di calore acqua acqua per installazione interna, ideale per gli edifici plurifamiliari e commerciali.*
Le principali caratteristiche sono:

- ***ELEVATA EFFICIENZA STAGIONALE*** *- L'abbinamento di compressori di taglie diverse consente di ottenere più gradini di regolazione, per fornire solo l'energia effettivamente richiesta dall'impianto, ridurre i consumi e ottenere un'elevata efficienza stagionale. L'unità raggiunge la Classe A Eurovent in riscaldamento e in raffreddamento per l'impiego con pannelli radianti.*
- ***VERSIONE ACQUA DI FALDA O GEOTERMICA*** *- L'utilizzo di scambiatori specifici per applicazioni con acqua di falda o geotermia ad anello chiuso permette di massimizzare l'efficienza energetica.*
- ***RECUPERO ENERGETICO*** *- Il recupero parziale o totale soddisfa la richiesta dei carichi termici e la produzione di acqua calda sanitaria in funzione della tipologia impiantistica.*
- ***CENTRALE PREASSEMBLATA*** *- Tutti i principali componenti dell'impianto sono forniti a bordo unità, garantendo la massima affidabilità e semplicità di installazione.*
- ***MODULARITA' E GESTIONE PIU' UNITA' IN CASCATA*** *- La costruzione compatta con attacchi idrici verso l'alto permette di affiancare più unità in spazi ridotti, realizzando una centrale di elevata potenza. Il controllo consente di coordinare fino a 6 unità gestendo automaticamente il funzionamento con la massima efficienza.*

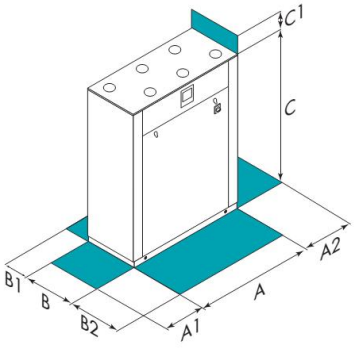
EUROVENT CERTIFIED PERFORMANCE
Unità partecipanti su www.eurovent-certification.com (WSHN-XEE)

conforme requisiti incentivi
Su www.clivet.com i modelli conformi

funzionalità e caratteristiche

Solo freddo (WSH-XEE) · Pompa di calore (WSHN-XEE) · Condensato ad acqua · Installazione interna · R-410A · Ermetico Scroll · ELFOControl²

dimensioni e spazi funzionali



ATTENZIONE! Per un buon funzionamento dell'unità è fondamentale che vengano mantenute le distanze di rispetto indicate dalle aree verdi.

Grandezze – WSH-XEE		82	102	122	162	182	222	262	302	352	402	432	452	502	552	602	702	802
A - Lunghezza	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966
B - Profondità	mm	656	656	656	656	656	656	656	656	980	980	980	980	980	980	980	980	980
C - Altezza	mm	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1624	1624	1624	1624	1624	1624	1624	1624	1624
A1	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
A2	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
B1	mm	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
B2	mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
C1	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Peso in funzionamento	kg	382	400	427	476	489	503	513	579	977	1007	1132	1142	1156	1186	1216	1260	1288

Grandezze – WSHN-XEE		82	102	122	162	182	222	262	302	352	402	432	452	502	552	602	702	802
A - Lunghezza	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966
B - Profondità	mm	656	656	656	656	656	656	656	656	948	948	948	948	948	948	948	948	948
C - Altezza	mm	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620
A1	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
A2	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
B1	mm	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
B2	mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
C1	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Peso in funzionamento	kg	407	425	453	504	517	531	545	611	1011	1042	1169	1179	1193	1228	1258	1306	1333

I dati sopra riportati sono riferiti ad unità standard.
Per le unità con opzione Gruppo idronico e/o Valvole montate a bordo (mobile maggiorato) o altre configurazioni consultare il Bollettino Tecnico dedicato.

Figura 2.9. Foglio introduttivo tratto dalla scheda tecnica delle PdC modello WSHN-XEE installate.

Tali scelte risultano compatibili con la decisione di installare come terminali di impianto negli appartamenti panelli radianti a pavimento, i quali prevedono lo sfruttamento di fluidi termovettori a temperatura moderata. In fase di riscaldamento l'acqua non supera i 45°C, mentre in periodo estivo la temperatura minima di mandata ai pannelli radianti è pari a 15°C.

I pannelli radianti hanno l'importante vantaggio, oltre a quello di non necessitare di fluiti termovettori ad alta temperatura, di poter garantire un ridotto gradiente termico verticale all'interno del volume riscaldato. Com'è infatti visibile dallo schema sottostante un sistema di riscaldamento che adotta radiatori o convettori crea un'elevata differenza verticale di temperatura, che può arrivare fino a 6°C nel caso di utilizzo di convettori. Questa differenza di temperatura è una delle principali cause di discomfort locale e genera perdite di energia termica utile.

Nei bagni degli appartamenti non sono presenti i pannelli radianti a pavimento ma sono installati radiatori.

In alcuni vani scala e locali comuni sono installati radiatori a bassa temperatura serviti dal fluido termodinamico inviato ai pannelli radianti.

In ogni appartamento è previsto un ricambio d'aria di circa 0,60 V/h. Tale portata è in grado di garantire una buona qualità dell'aria ed una opportuna deumidificazione durante la stagione estiva. La distribuzione è effettuata nel controsoffitto dei locali di transito, mentre l'immissione e l'estrazione dell'aria avviene a parete. L'aria è estratta dai servizi igienici tramite griglie di ripresa a parete e/o valvole di estrazione a controsoffitto, previo passaggio in griglie di transito collocate nelle porte dei servizi igienici. I terminali di impianto per la mandata del sistema di ventilazione sono invece costituiti da bocchette lineari in alluminio ad alette regolabili.

Le macchine per il trattamento dell'aria sono state dimensionate per immettere aria a 20°C in inverno e 24°C in estate. Il controllo delle condizioni termiche dell'aria è molto importante al fine dell'abbattimento dei carichi termici gravanti sui pannelli radianti e di conseguenza sulle PdC. In estate la riduzione dei carichi termici gravanti sulle PdC permette l'invio di acqua ai pannelli radianti a temperature superiori a quelle necessaria a smaltire il *cooling load* (il flusso termico che è necessario sottrare dall'ambiente in ogni istante per mantenere la temperatura interna pari al set-point impostato). Infatti parte del *cooling load* sono a carico delle UTA. Il controllo della temperatura del pavimento in periodo estivo è importante: nel momento in cui questa temperatura scende al di sotto del punto di rugiada dell'aria si genera condensa sul pavimento delle abitazioni. Le UTA permettono perciò di evitare l'utilizzo di fluidi termovettori eccessivamente freddi, causa di formazione di condensa sul pavimento e conseguente blocco degli impianti di climatizzazione. Nelle mezze stagioni l'impianto funziona in freecooling, immettendo aria esterna filtrata senza essere trattata termicamente. È previsto un funzionamento dell'impianto 24 ore su 24 a portata costante per tutte le unità. Il sistema è regolato per mezzo di serrande di taratura manuale sugli stacchi dei canali in ingresso alle unità

immobiliari accessibili tramite appositi cavedi.

In fase di progettazione si era previsto di dedicare un apposito circuito che, alimentato dall'acqua di pozzo, potesse servire le UTA per effettuare un pre-riscaldamento o pre-raffrescamento dell'aria di rinnovo. Tale circuito tuttavia non risulta essere stato realizzato.

Per quanto riguarda gli spazi commerciali e i locali identificati come SLU (Gestore Sociale, Co-Lavoro, Lavanderia, Utensileria ed Eco-club) i terminali di impianto sono costituiti da ventilconvettori serviti dall'acqua termicamente trattata dalle PdC per il controllo della temperatura e bocchette di mandata e ripresa collegate all'impianto di ventilazione meccanica per il controllo dell'aria interna. È previsto un ricambio d'aria di circa 0.8 V/h per gli uffici di detti locali commerciali.

Per i locali ad uso commerciale è stato previsto, in fase di progettazione, di non installare i terminali di impianto ma di consegnare i locali "core & shell". Ciò permette una maggior flessibilità di adattamento per i locali. Successivamente sono stati installati ventilconvettori a soffitto dagli utenti.

Il Living, che costituisce un edificio a sé stante non servito da nessuna delle 7 sotto-centrali, è dotato di ventilconvettore canalizzabile installato a controsoffitto. La distribuzione dell'aria avviene in modo distribuito lungo il perimetro del locale al fine di neutralizzare il discomfort causato delle facciate vetrate sia in estate, per via dei carichi solari, sia in inverno per via della loro superficie fredda. Inoltre l'edificio è dotato di un'UTA in grado di effettuare un ricambio d'aria pari a 1.5 V/h.

Gli impianti di climatizzazione funzionano in regime stagionale con inversione estate/inverno. Dal 15 ottobre a 15 aprile in periodo di riscaldamento, dal 16 giugno al 14 settembre in periodo di raffrescamento. L'acqua calda sanitaria è prodotta durante tutto l'anno, in estate è generata gratuitamente grazie al recupero del calore sottratto agli ambienti raffrescati. L'inversione di funzionamento delle PdC è eseguita manualmente dal manutentore del lotto tramite sistema di controllo remoto degli impianti. In caso di bisogno le durate delle stagioni di riscaldamento o raffrescamento possono essere prolungate dal tempo necessario per garantire il comfort dei residenti.

Le otto sotto-centrali, pur essendo di diverse dimensioni, adottano un comune schema e sono assimiliate dalla medesima modalità di funzionamento.

Cinque pozzi, profondi circa 30 m e posizionati con distanza reciproca maggiore di 50 m, estraggono acqua di falda e, dopo averla filtrata, la immettono in un circuito comune che serve

le otto sotto-centrali.

Il circuito che porta l'acqua di pozzo viene idraulicamente separato dai sotto-circuiti di centrale per mezzo di due scambiatori di calore. Una sonda misura la temperatura dell'acqua prima dell'ingresso nei due scambiatori e due valvole modulati a globo permettono una regolazione della portata proporzionale all'apertura.

L'acqua di falda cede calore in inverno attraverso gli scambiatori, lo assorbe durante il periodo di raffrescamento. L'acqua di falda in uscita dagli scambiatori viene immessa a temperature leggermente superiori (periodo raffrescamento) o inferiori (periodo riscaldamento) nel circuito diretto ai pozzi disperdenti.

La temperatura massima di re-immissione in falda deve essere di 20°C in conformità al D.lgs 152/2006 e Regolamenti n. 2/3 della regione Lombardia. Il rispetto di questo vincolo è visualizzabile tramite una sonda di temperatura posizionata sulla tubazione di ritorno dagli scambiatori di calore.

Diversamente da quanto previsto in fase preliminare l'acqua per l'irrigazione dei parchi pubblici e privati e per l'alimentazione delle cassette dei WC non è recuperata dell'acqua di ritorno dagli scambiatori e diretta ai pozzi disperdenti. L'acqua necessaria a tali scopi è fornita da una pompa appositamente dimensionata di cui uno dei cinque pozzi è fornito; viene poi stoccata nelle vasche antincendio ed in una vasca dedicata.

L'acqua di ritorno dagli scambiatori è quindi immessa in falda tramite un'circuito separato che si collega a pozzi disperdenti.

Le PdC hanno funzionamenti differenti nelle diverse stagioni. Durante il periodo di riscaldamento trasferiscono calore sia al circuito destinato alla produzione di ACS sia al circuito per la climatizzazione. Durante il periodo in cui non è effettuato il raffrescamento (ovvero le mezze stagioni) le PdC producono solamente ACS. Nella fase di raffrescamento il calore acquisito dal fluido interno alle PdC, il quale permette la refrigerazione dell'acqua inviata ai pannelli radianti, viene smaltito riscaldando l'ACS. Ciò permette un recupero di energia termica: anziché essere smaltita in ambiente è utilizzata per il riscaldamento dell'acqua sanitaria a costo nullo.

Sei sonde permettono il controllo della temperatura all'uscita e all'entrata dei circuititi collegati ad ogni pompa di calore.

L'acqua tecnica surriscaldata dalle PdC per la produzione di ACS viene inviata ad un unico puffer che ha la funzione di volano termico. La tubazione in uscita dal puffer si sdoppia e

permette di convogliare l'acqua, tramite coppie di pompe, a due boiler dotati di due resistenza elettriche aggiuntive per il trattamento anti-legionella. Nei boiler l'acqua tecnica fornisce l'energia termica prodotta dalle PdC all'acqua fredda (temperatura stimata sui 15°C) proveniente dall'acquedotto.

L'acqua termicamente trattata per l'impianto di climatizzazione passa attraverso un collettore da cui si staccano le tubazioni dirette agli impianti di climatizzazione.

Nel circuito a servizio dei pannelli radianti una valvola modulabile a tre vie, installata tra la tubazione di mandata e quello di ritorno, permette la miscelazione tra l'acqua a differenti livelli termici. Grazie alla valvola a tre vie e alle curve climatiche è garantita la regolazione della temperatura del fluido inviato agli alloggi.

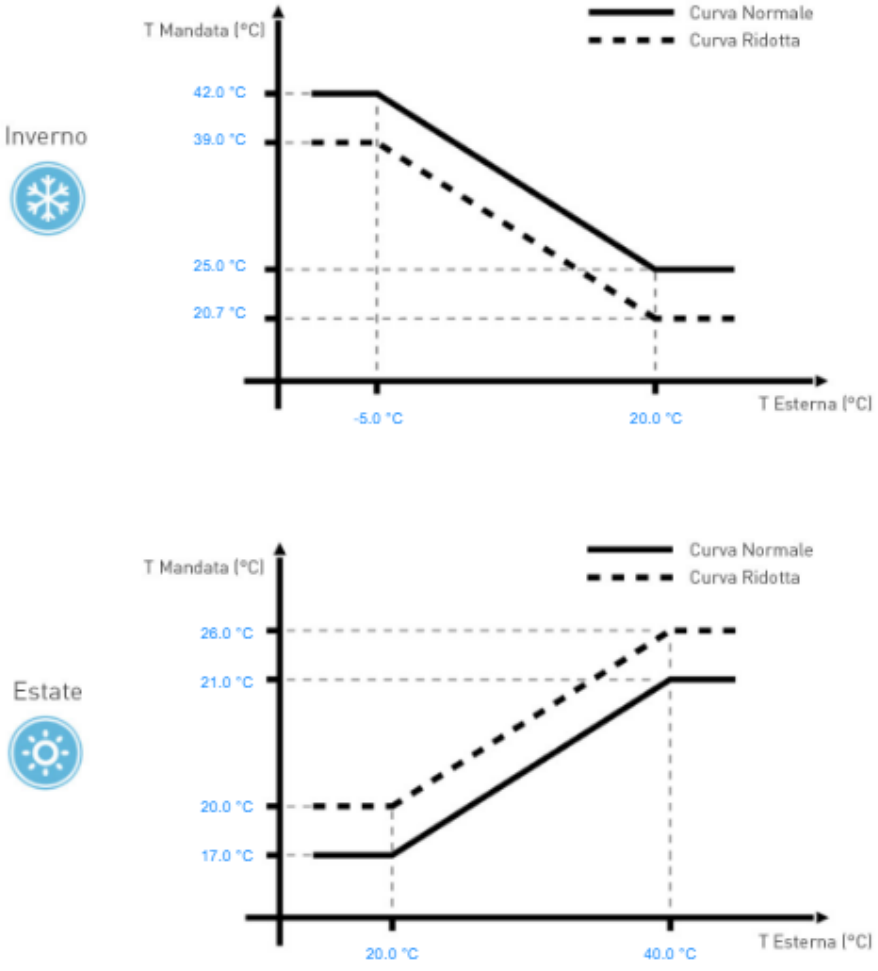
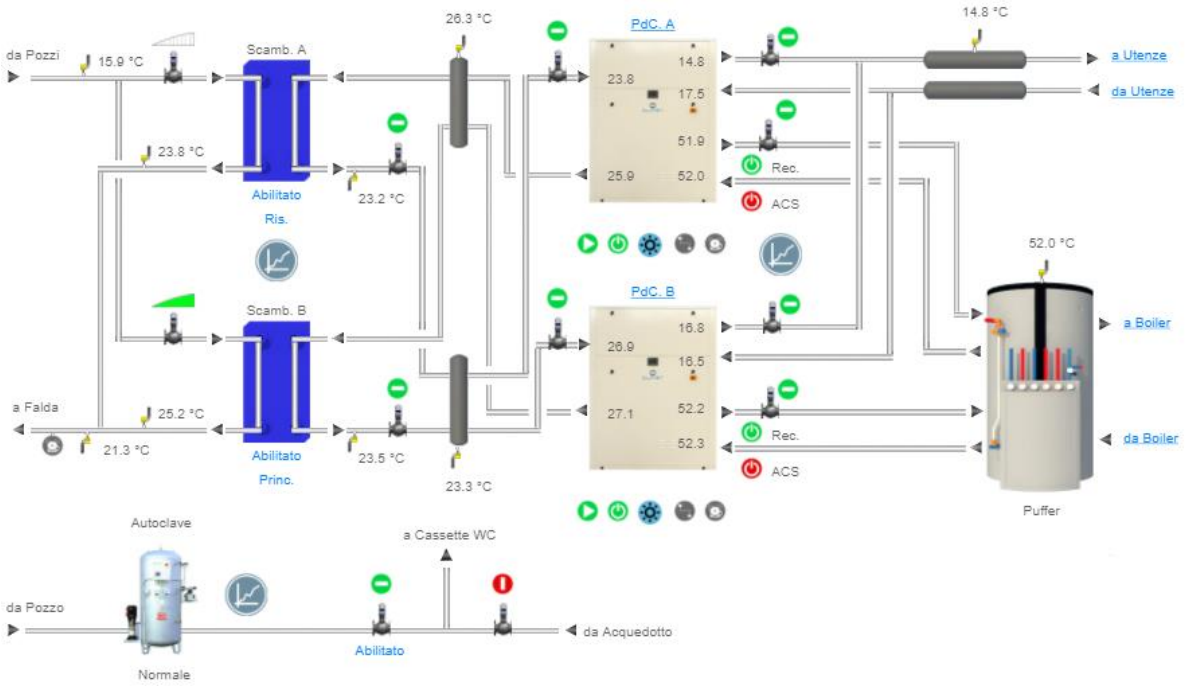


Figura 2.10. Curve climatiche sottocentrale S-01

Da notare il fatto che la curva climatica del periodo estivo ha andamento inverso a quello che ci si potrebbe aspettare. All'aumentare della temperatura esterna aumenta il set-point di regolazione della temperatura dell'acqua inviata ai pannelli radianti. La scelta di adottare questa curva è legittimata dall'esigenza di evitare la formazione della condensa sul pavimento delle

abitazioni. All'aumentare della temperatura ambiente, a parità di umidità relativa interna (50%), aumenta la temperatura di rugiada che deve sempre essere inferiore alla temperatura del pavimento.

Lo stesso circuito serve inoltre i radiatori disposti in alcuni locali comuni e nei corpi scale. Tale scelta è discutibile in quanto per poter correttamente funzionare i radiatori richiedono fluidi a temperature notevolmente superiori a quelle richieste dai pannelli radianti. Non garantiscono rilevanti effetti qualora serviti con acqua refrigerata o con acqua calda a bassa temperatura.



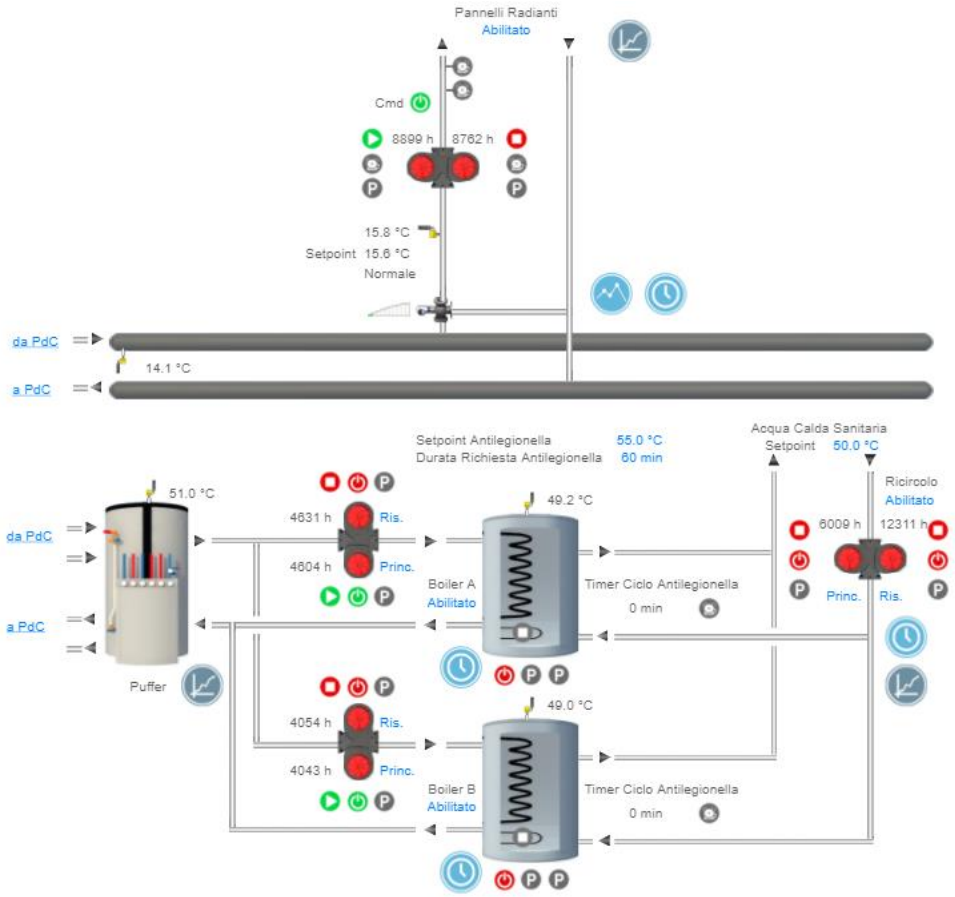


Figura 2.11. Schema semplificativo di una centrale termica estrapolato da una pagina grafica dell'interfaccia utente del BEMS.

Secondo quanto riportato nella relazione tecnica sugli impianti meccanici ed idro-sanitari per il dimensionamento delle PdC e delle UTA sono stati utilizzati i seguenti valori di input:

- Temperature fluidi caldi:
  - Acqua calda sanitaria (utilizzo) 45°C
  - Acqua tecnologica per produzione ACS (accumulo) 55°C
  - Acqua tecnologica per produzione ACS (produzione) 55°C;
  - Alimentazione pannelli radianti (mandata/ritorno) 42°C/37°C;
- Temperature fluidi freddi:
  - Produzione Acqua refrigerata (estate) 15°C/20°C (S02-S03-S05-S06), 10°C/15°C (S07-S04-S01)
  - Alimentazione pannelli radianti (mandata/ritorno) 17°C/19°C

- Alimentazione terminali attività terziarie (estate) 10°C/15°C

- Temperature acqua di falda:
  - Fase invernale: 11°C/6°C
  - Fase estiva: 15°C/20°C

In base ai dati ricavati dal periodo di funzionamento degli impianti risultano difformità con i valori sopra riportati. La differenza è visibile nella tabella sottostante.

GRANDEZZA	VALORE IN FASE DI PROGETTO	VALORE RICAVATO DA FASE DI FUNZIONAMENTO
Acqua calda sanitaria (utilizzo)	45°C	50°C
Acqua tecnologica per produzione ACS (accumulo)	55°C	50°C
Acqua tecnologica per produzione ACS (produzione)	55°C	47.6°C
Alimentazione pannelli radianti (mandata riscaldamento)	42°C	Valore massimo: 42°C
Produzione Acqua refrigerata (estate) (S02-S03-S05-S06)	15°C	15°C (S02);16,6 °C (S03); 19°C (S05); 16 °C (S06)
Produzione Acqua refrigerata (estate) (S07-S04-S01)	10°C	15,6°C (S01);17 °C (S04-S07)
Alimentazione pannelli radianti (mandata raffrescasmento)	17°C	Valore minimo: 17°C (S02-S04-S01-S05-S06);15°C (S03); 12°C (S07)
Alimentazione Terminali attività terziarie (estate)	10°C/15°C	Uguale a produzione acqua refrigerata

Temperature acqua di falda, inverno	11°C	16.3 °C
Temperature acqua di falda, inverno	15°C	16.7°C

Tabella 2.2: confronto tra i valori utilizzati per il dimensionamento delle sottocentrali in fase di progetto e i valori misurati in fase di gestione.

I valori di temperatura per la fase di funzionamento visibili nella tabella soprastante sono stati ricavati in diversi modi. I valori in blu sono valori impostati come set-point di regolazione del funzionamento degli impianti. I valori in verde invece sono stati ricavati come media aritmetica dei dati registrati relativi alla grandezza di interesse.

3. L'Efficienza Energetica Prevista in Fase di Progetto.

L'efficienza energetica dell'edificio, le caratteristiche e i limiti del sistema edificio-impianto e dell'involucro, nonché i consumi di energia previsti per il mantenimento di determinate condizioni ambientali interne sono oggetto della relazione energetica. Si tratta di un documento introdotto dalla Legge n. 10 del 9 gennaio 1991 che sintetizza le caratteristiche energetiche dell'edificio e la loro rispondenza con le disposizioni normative. Questo è redatto in caso di nuovi interventi o ristrutturazioni da un tecnico abilitato e iscritto all'albo.

In ottemperanza alle disposizioni date a livello europeo con il D.Lgs n.192 del 19 agosto 2005 viene reso l'obbligo di redigere oltre alla relazione tecnica anche un attestato energetico che, presentato alle autorità competenti a fine lavori, sintetizza le prestazioni dell'edificio e attribuisce alla sua efficienza una determinata classe energetica.

Al fine di poter correttamente interpretare i dati ottenuti tramite il sistema di monitoraggio, occorre innanzitutto analizzare quali siano le prestazioni e caratteristiche energetiche dell'edificio a progetto, ovvero come riportate nella relazione tecnica energetica o negli attestati di prestazione.

I dati di consumo dichiarati e calcolati sulla base delle indicazioni fornite dalle specifiche tecniche, il cui risultato è condizione limitativa per il rilascio dei permessi necessari alla costruzione o ristrutturazione, sono fondamentali benchmarck con cui confrontare i dati di consumo reale e stabilire la reale efficienza energetica dell'edificio. Nel caso in cui questi non siano rispettati, sono inoltre il primo obbiettivo a cui mirano le strategie di riqualificazione energetica.

3.1. Il Quadro Normativo di Riferimento

La relazione tecnica di rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico e l'Attestato di Certificazione Energetica sono redatti, per gli edifici del complesso oggetto di studio, con riferimento al D.G.R. VIII-8745. Prima di esaminare le informazioni di maggior interesse in essi contenuti, è bene introdurre il quadro normativo che ha portato allo sviluppo del sopracitato decreto e il contesto nel quale esso si colloca. Sarà posta particolare attenzione all'evoluzione effettuata nel tempo della normativa di riferimento per la relazione e l'attestato energetico, oltre che ai requisiti minimi di riferimento per questi documenti.

A livello nazionale risale agli anni '70, Legge 373 del 1973, la prima legge che impose dei limiti alla dispersione termica verso l'esterno. L'inizio dell'evoluzione della normativa con

l'obbiettivo di regolamentare il settore termotecnico, in accordo con la politica sul risparmio energetico adottata dalla Comunità Economica Europea, coincide però con la Legge 10 del 9 gennaio 1991 "Norme per l'attuazione del piano nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

La legge 10 è la prima legge quadro finalizzata a regolare le modalità progettuale e la gestione del sistema edificio/impianto con l'obbiettivo di garantire un risparmio energetico, la salvaguardia dell'ambiente e il benessere degli individui all'interno. Viene proposto un metodo del bilancio energetico invernale degli edifici basata sul calcolo degli apporti e dispersione di calore.

Nell'articolo 28 della legge 10/91 è specificato l'obbligo del proprietario dell'edificio, di depositare in comune una relazione tecnica redatta dal progettista che attesti la rispondenza alle proprie prescrizioni.

> *Articolo 28, Relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni*
>
> 1. *Il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare in comune, in doppia copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere di cui agli articoli 25 e 26, il progetto delle opere stesse corredate da una relazione tecnica, sottoscritta dal progettista o dai progettisti, che ne attesti la rispondenza alle prescrizioni della presente legge.*
>
> 2. *Nel caso in cui la denuncia e la documentazione di cui al comma 1 non sono state presentate al comune prima dell'inizio dei lavori, il sindaco, fatta salva la sanzione amministrativa di cui all'articolo 34, ordina la sospensione dei lavori sino al compimento del suddetto adempimento.*[16]

Successivamente a questa legge sono stati emanati i suoi decreti di attuazione DPR 412/1993 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4 della legge 9 Gennaio 1991, n. 10" e il DPR 551/99 "Modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412". Questi stabiliscono i criteri per la progettazione energetica e disciplinano i calcoli per il fabbisogno energetico normalizzato

[16] Legge 9 gennaio 1991, n. 10, "Norme per l'attuazione del piano nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

(FEN), facendo riferimento a norme UNI. Istituiscono inoltre la suddivisione, valida ancora oggi, del territorio italiano in sei classi climatiche, dalla A alla F, sulla base del calcolo dei gradi giorno. Ad ognuna di queste classi associano un determinato periodo di riscaldamento.

Nel 2005 viene emanato il D.Lgs 19 agosto 2005, n.192 in recepimento della direttiva europea 2002/91/CE. Questa definisce il metodo di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, nuovi requisiti minimi (indice di prestazione energetica e trasmittanza dei vari componenti) e fra le altre cose, assieme al successivo D.Lgs 29 dicembre 2006 n.311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192", definisce i criteri per la certificazione energetica. Viene così introdotti l'Attestato di Certificazione Energetica, un documento "attestante la prestazione energetica ed eventualmente alcuni parametri energetici caratteristici dell'edificio"[17]. Nello decreto n.192 all'articolo 6 viene specificato che:

> *Entro un anno dalla data di entrata in vigore del presente decreto, gli edifici di nuova costruzione e quelli di cui all'art.3, comma 2, lettera a), sono dotati, al termine della costruzione medesima ed a cura del costruttore, di un attestato di certificazione energetica.*[18]

Nel D.Lgs n.311 L'ACE è reso obbligatorio a partire dal 1° luglio del 2006 per "tutti i contratti, nuovi o rinnovati, relativi alla gestione degli impianti termici o di climatizzazione degli edifici pubblici, o nei quali figura comunque come committente un soggetto pubblico"[19] e viene introdotto il Attestato di Qualificazione Energetica (AQE) che va a sostituire il l'ACE nel caso di edifici di nuova costruzione. Nella modifica apportata con l'Art. 3 al comma 2 dell'articolo 8 del D.Lgs. n.192 si legge:

> *La conformità delle opere realizzate rispetto al progetto e alle sue eventuali varianti ed alla relazione tecnica di cui al comma 1, nonché' l'attestato di qualificazione energetica dell'edificio come realizzato, devono essere asseverati dal direttore dei lavori e presentati al comune di competenza contestualmente alla dichiarazione di fine lavori senza alcun onere aggiuntivo per il committente. La dichiarazione di fine lavori è inefficace a qualsiasi*

[17] Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Articolo 2.

[18] Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Articolo 6, Comma 1.

[19] Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n.311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, Articolo 6, Comma 1bis.

titolo se la stessa non è accompagnata da tale documentazione asseverata.

La differenza tra ACE e AQU è specificata nel decreto ministeriale 26 giugno 2009 il quale precisa che "l'attestato di qualificazione energetica degli edifici si differenzia da quello di certificazione, essenzialmente per i soggetti che sono chiamati a redigerlo e per l'assenza dell'attribuzione di una classe di efficienza energetica all'edificio in esame"[20].

In seguito ad un ancor lungo iter normativo l'Attestato di Certificazione Energetica e l'Attestato di Qualificazione Energetica sono definitivamente sostituiti dall'Attestato di Prestazione Energetica con il D.L. del 4 giugno 2013 n.63, convertito dalla Legge del 3 agosto 2013 n. 90.

Due anni dopo sono emanati i tre decreti attuativi della legge 90/2013, i D.M. 26 giugno 2015, che chiudono il recepimento della direttiva europea 31/2010/UE e definiscono, oltre nuovi requisiti minimi, le modalità e gli schemi di riferimento per la compilazione della relazione tecnica e nuove regole per la redazione dell'APE.

Le norme tecniche di riferimento riconosciute a livello nazionale per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e di riferimento per la stesura della relazione tecnica, nonché per la compilazione dell'attestato energetico, sono (come specificato dal DPR 59/2009) la serie delle UNI 11300 integrate nel 2016 con le nuove parti 4, 5 e 6.

Se a livello nazionale vengono fissati "i principi fondamentali"[21] e "i vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario desumibili…dalla stessa direttiva 2002/91/CE"[22] in tema di efficienza energetica nell'edilizia, spetta alle regioni la redazione delle disposizioni legislative per la sua certificazione in tale ambito. Mentre spetta allo stato l'attribuzione di sanzioni civilistiche in caso di violazione degli obblighi stabiliti dalla normativa energetica, occorre quindi far riferimento alle leggi regionali per la determinazione dei contenuti e requisiti minimi di riferimento di riferimento per la stesura della relazione energetica e dell'attestato di certificazione energetica.

Per le regioni che non hanno ancora provveduto alla pubblicazione della propria normativa di attuazione si fa riferimento alla normativa nazionale ed in particolare D.Lgs. 192 del 2005 (come modificato dalle successive norme), in accordo con quanto specificato nella clausola di

[20] Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, Articolo 8, Comma 3.

[21] Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Articolo 17.

[22] Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Articolo 17.

cedevolezza della stessa come modificata dalla legge n.90 del 2013.

Le Regioni che hanno recepito la normativa comunitaria emettendo specifiche delibere su metodo di calcolo, requisiti, forma e contenuto dell'attestato di certificazione energetica, hanno anche provveduto a istituire i relativi database online per la registrazione e la consultazione delle pratiche, nonché degli elenchi dei tecnici abilitati per la professione di certificatore.

La prima regione ad adottare un sistema di certificazione (CENED) è stata la Lombardia. Questa ha accreditato un apposito organismo alla formazione, al controllo della certificazione energetica e alla gestione di un apposito software. Quest'ultimo è di riferimento per i calcoli richiesti dalla normativa tecnica in materia di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici.

Per la Regione Lombardia l'evoluzione della normativa in materia di efficienza e certificazione energetica è iniziato nel 2007, con il DGR VIII/5018 del 26 giugno 2007. Il DGR VIII/5018 ha introdotto l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE), la targa energetica e specificato i requisiti di prestazione energetica più restringenti rispetto a quelli della Legge 10.

Il DGR VIII/5018 specifica inoltre una metodologia di calcolo da adottare per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (nell'Allegato E), fornisce un modello di riferimento per la stesura della relazione tecnica richiesta dalla legge n. 10 del 1991 e una traccia di attestato di certificazione energetica.

Il DGR VIII/8745 del 22/12/08 "Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici" riprende parte dei contenuti specificati dal precedente decreto, tra questi il modello di relazione tecnica e di ACE e i requisiti minimi dell'involucro edilizio e del sistema edificio-impianto, introducendo poi una serie di importanti novità. Fra queste è possibile elencare:

- Introduzione i requisiti per gli impianti di climatizzazione invernale e produzione di ACS;
- Verifica dell'efficacia degli elementi schermanti, i quali devono sia apportare una riduzione della radiazione solare in periodo estivo almeno pari al 70%, che garantire il completo utilizzo della radiazione solare in inverno;
- Analisi della massa superficiale e della trasmittanza termica periodica per le strutture opache verticali e orizzontali.
- Prescrizione dell'installazione di dispositivi per la regolazione

automatica della temperatura nei singoli locali o zone che godono di diversi apporti gratuiti;

- Prescrizione dell'installazione, per gli impianti, di centraline di termoregolazione che consentano l'invio di acqua a diverse temperature nel corso delle 24 ore.
- Obbligo:

"in occasione di nuova installazione o di ristrutturazione di impianti termici … di progettare e realizzare l'impianto di produzione di energia termica in modo tale da coprire almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria attraverso il contributo di impianti alimentati da fonti di energia rinnovabile… La presente disposizione si intende rispettata qualora si utilizzino pompe di calore purché´ siano rispettati i valori fissati nella Tabella A.5.1 di cui all'Allegato A"[23].

- Obbligo, specificato nell'articolo 6:

6.7 In tutti gli edifici esistenti, appartenenti alle categorie E.1 ed E.2, in caso di nuova installazione o ristrutturazione dell'impianto termico e in caso di sostituzione del generatore di calore, devono essere realizzati gli interventi necessari per permettere, ove tecnicamente possibile, la contabilizzazione e la termoregolazione del calore per singola unità immobiliare. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica alla realizzazione dei predetti interventi devono essere motivati nella relazione tecnica di cui all'Allegato B.

6.8 Le apparecchiature installate ai sensi del punto 6.7 devono assicurare un errore di misura, nelle condizioni di utilizzo, inferiore al 5%, con riferimento alle norme UNI in vigore. [24]

Nel decreto è indicato di far riferimento al metodo di calcolo dell'Allegato E del DGR VIII/5018.

Il modello di calcolo è ad oggi stato ritrattato prima dal D.d.g 5796 del 11/06/09 che ne rivede alcuni passaggi (come il calcolo dei ponti termici) e in seguito dal D.D.U.O. 6480 del 30/07/15, dal D.D.U.O. 176 del 12/01/17 e dal suo decreto di integrazione D.D.U.O 2456.

[23] DGR VIII/8745 del 22/12/08, Articolo 6.5.
[24] DGR VIII/8745 del 22/12/08, Articolo 6.7 e 6.8.

Dal 2007 il modello di attestato energetico è stato oggetto di diverse modifiche: a partire dal 15 gennaio 2014, con DGR X/1216, l'ACE è stato sostituito dall'Attestato di Prestazione Energetica "APE", in attuazione del D.L. 63/2013 convertito con L. 90/2013.

Il D.D.U.O 2456 contiene anche la versione più aggiornata dei requisiti minimi. Questi sono suddivisi per i diversi ambiti di riferimento e ampliati come nell'elenco sottostante:

- Requisiti richiesti per interventi relativi all'involucro;
- Requisiti richiesti per interventi relativi agli impianti;
- Requisiti richiesti per interventi che coinvolgono sia l'involucro che gli impianti;
- Requisiti richiesti agli "edifici a energia quasi zero";
- Requisiti richiesti nel caso di ampliamenti e recuperi volumetrici.

L'aggiornamento dei requisiti del DGR VIII/8745 apportato dal D.D.U.O 2456 ha comportato una loro notevole restrizione. Di seguito sono riportate le tabelle contenenti i valori limite della trasmittanza termica riportate rispettivamente nel DGR VIII/8745 del 22/12/08 e nel D.D.U.O 2456 (identici a quelli del D.D.U.O 6480 del 2015) per edifici di nuova costruzione.

Zona climatica	*Strutture rivolte verso l'esterno ovvero verso ambienti a temperatura non controllata*			
	Opache verticali	*Opache orizzontali o inclinate*		*Chiusure trasparenti comprensive di infissi*
		Coperture	*Pavimenti*	
D	0,36	0,32	0,36	2,4
E	0,34	0,30	0,33	2,2
F	0,33	0,29	0,32	2,0

Immagine 3.1. Tabella A.2.1 del DGR VIII/8745– Valori limite della trasmittanza termica espressa in W/m2 K

Zona climatica	**U** (W/m²K)
E	0,26
F	0,24

Immagine 3.2. Tabella 1, Allegato B del D.D.U.O 2456. Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	**U** (W/m²K)
E	0,22
F	0,20

Immagine 3.3. Tabella 2, Allegato B del D.D.U.O 2456.Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati

Zona climatica	U (W/m²K)
E	0,26
F	0,24

Immagine 3.4. Tabella 3, Allegato B del D.D.U.O 2456.Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m²K)
E	1,40
F	1,10

Immagine 3.5. Tabella 4, Allegato B del D.D.U.O 2456.Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati

3.2. Le prestazioni dichiarate a progetto, i consumi energetici previsti e la classe energetica.

La relazione energetica è redatta per ogni edificio presente nel lotto oggetto di studio. Per gli edifici in cui sono presenti locali con destinazioni d'uso diverse dal residenziale è disponibile un'ulteriore relazione tecnica a questi dedicata.

Come richiesto dall'Allegato B del DGR VIII/8745, al punto 3 della relazione tecnica, dopo le informazioni generali e il dettaglio degli elaborati forniti a supporto della relazione, sono riportati i parametri climatici della località.

Questi sono:

- Gradi giorno: 2404 GG;
- Temperatura minima di progetto dell'aria esterna: -5 °C;
- Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna: 31 °C;
- Ampiezza massima estiva di progetto dell'aria esterna: 12°C;
- Umidità relativa dell'aria esterna di progetto per la climatizzazione estiva (come da UNI 10339): 50%;
- Irradianza solare massima estiva su superficie orizzontale: 227.78 W/m^2.

Al punto 4 sono riportati i dati tecnici e costruttivi dell'edificio e delle relative strutture. I set-point per la regolazione degli impianti riportati sono:

- Temperatura di progetto interna per la climatizzazione invernale: 20 °C;
- Temperatura di progetto interna per la climatizzazione estiva: 26 °C;
- Valore di progetto dell'umidità relativa interna per la climatizzazione invernale: 50 %;
- Valore di progetto dell'umidità relativa per la climatizzazione estiva: 50 %;

È importante sottolineare che per le caratteristiche delle UTA installate nel sito gli ultimi due punti non possono essere garantiti: le machine per il trattamento dell'aria non sono fornite della batteria di umidificazione e deumidificazione.

Un'altra informazione di interesse qui riportata è il rapporto superfice su volume S/V, dove S, espressa in m^2, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di riscaldamento), V è il volume lordo a temperatura controllata o climatizzata in m^3 definito dalle superficie S.[25]

Il rapporto S/V, detto rapporto di forma, indica la compattezza dell'edificio ed è una variabile importante al fine della riduzione delle perdite per trasmissione. A parità di altre condizioni al contorno, minore è il coefficiente di forma minori sono le dispersioni per trasmissione.

Il valore più alto è riferito ai locali commerciali dell'edificio con numero civico 6A ed è pari a 1,11 m^{-1}. Due edifici del lotto A, numeri civici 10A/10B e 12A/12B, hanno i valori veramente bassi di rapporto S/V, pari rispettivamente a 0,36 m^{-1} e 0,37 m^{-1}. Per tutti gli altri edifici il rapporto di forma si attesta su una media di 0,53 m^{-1}.

Nel punto 5.1.a., tra le informazioni relative agli impianti termici a livello di centrale, non risulta presente la voce riportata nel modello della relazione tecnica riguardante il sistema di contabilizzazione dell'energia adottato. La contabilizzazione dell'energia, incentivata dal DGR 8/8745, risulta di fatto garantita per ogni unità immobiliare dal sistema BEMS installato. Lo stesso discorso vale per il le informazioni riguardanti il sistema di telegestione.

È invece specificato il sistema di termoregolazione dei vari ambianti la cui installazione è richiesta dalla stessa norma. Maggiori informazioni sui cronotermostati sono riportate nel capitolo 4 del presente trattato.

L'articolo 6 comma 2 prescrive al punto B in riferimento ai requisiti richiesti per sistemi di

[25] Da definizione riportata ne DGR VIII/8745, Appendice A.

generazione di nuova installazione o di sostituzione:

> *Le nuove pompe di calore elettriche, a gas o alimentate termicamente, abbiano un COP, un GUE o un COPt in condizioni nominali maggiori o uguali a rispettivo valore riportato, in funzione della tipologia adottata, nella tabella A.5.1 di cui allegato A.*[26]

Il valore di riferimento per le PdC elettriche di tipo acqua-acqua è 4,5. Sempre al punto 5 della relazione energetica è specificato il COP, che nelle condizioni di riferimento per il calcolo, risulta pari a 4.94 e quindi superiore al valore specificato dalla norma.

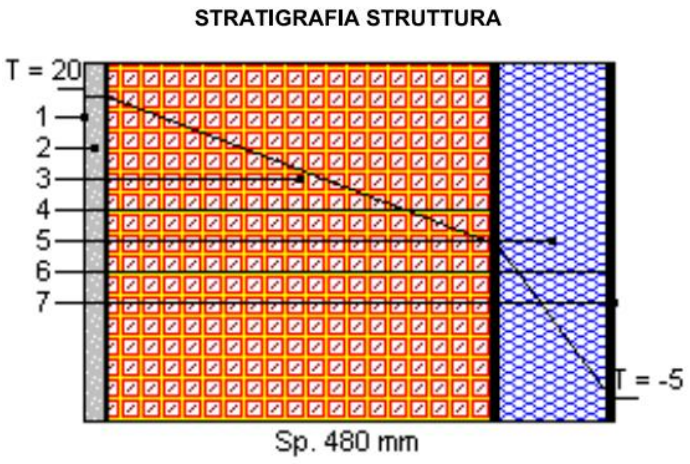
Sono specificati poi i sistemi di contabilizzazione installati a livello di appartamento, trattati nel capitolo 4 del presente trattato.

Nel capitolo 6, come da titolo, sono specificati i risultati ottenuti dai calcoli suddivisi per argomento. Il punto a) riguarda le verifiche dell'involucro e dei ricambi d'aria. Per ogni componente dell'involucro sono stati calcolati i valori di trasmittanza e altre caratteristiche termiche. I valori di trasmittanza sono stati corretti per tener conto dei ponti termici associati ad ogni componente e i risultati confrontati con i limiti di legge.

Non risultano però presenti indicazioni riguardanti la verifica dei sistemi di schermatura degli elementi vetrati come richiesto dal DGR VIII/5018.

Le stratigrafie e le caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro edilizio sono anche riportati nell'abaco delle strutture associato alla relazione tecnica. Di seguito sono riportati le principali stratigrafie.:

- parete perimetriate



[26] DGR 22/12/08 n.8745, Articolo 6, Comma 2.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
3	Mattone DANESI - POROTON PLAN P700 TS	350		0.358	283.00	25.733	1000	2.794
4	Colla per Cappotto	5	0.400	80.000	6.63	1.930	1000	0.013
5	Cappotto in EPS - LEUCOSTRE 100 ETICS	100	0.035	0.350	1.50	3.860	1500	2.857
6	Rasatura	5	1.200	240.000	7.00	18.000	1000	0.004
7	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0.040

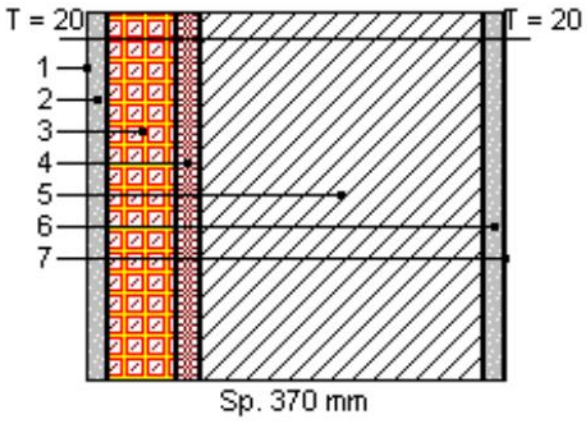
RESISTENZA = 5.854 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.171 W/m²K
SPESSORE = 480 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 43.396 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 291 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.00 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.01	SFASAMENTO = 22.64 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.1: stratigrafia parete perimetrale

- Parete verso vano scala chiuso

STRATIGRAFIA STRUTTURA



N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
3	Forato di laterizio	60		6.250	90.00	25.733	840	0.160
4	Lana di roccia - ROCKWOOL STEPROCK LD (densità 100 Kg/mc)	20	0.036	1.800	2.00	193.000	1030	0.556
5	Calcestruzzo ordinario	250	1.410	5.640	500.00	3.000	1000	0.177
6	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
7	Adduttanza Esterna	0		7.700			0	0.130

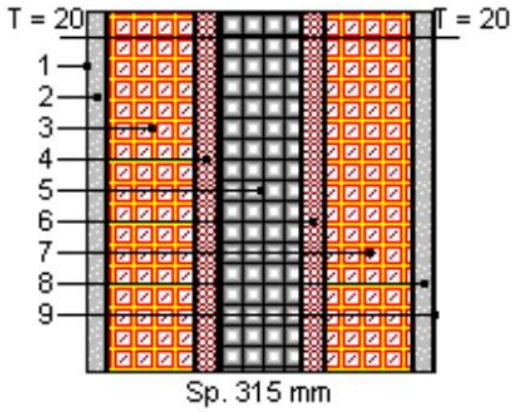
RESISTENZA = 1.186 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.843 W/m²K
SPESSORE = 370 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 57.952 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 592 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.08 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.10	SFASAMENTO = 12.81 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.2: stratigrafia parete verso vano scala chiuso

- Parete divisoria tra unità

STRATIGRAFIA STRUTTURA



N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
3	Mattone DANESI - SCATOLA 8.25.25	80		2.907	59.00	25.733	1000	0.344
4	Lana di roccia - ROCKWOOL STEPROCK LD (densità 100 Kg/mc)	20	0.036	1.800	2.00	193.000	1030	0.556
5	Blocco forato di cemento GALLOTTA - 8x20x50	75		6.667	114.00	19.300	1000	0.150
6	Lana di roccia - ROCKWOOL STEPROCK LD (densità 100 Kg/mc)	20	0.036	1.800	2.00	193.000	1030	0.556
7	Mattone DANESI - SCATOLA 8.25.25	80		2.907	59.00	25.733	1000	0.344
8	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
9	Adduttanza Esterna	0		7.700			0	0.130

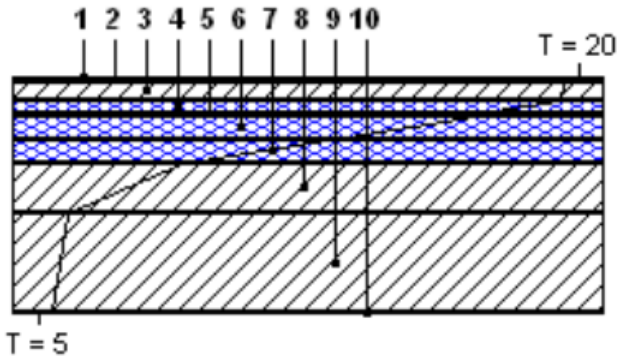
RESISTENZA = 2.242 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.446 W/m²K
SPESSORE = 315 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 48.825 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 236 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.05 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.11	SFASAMENTO = 13.80 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.3: stratigrafia parete divisoria tra unità

- Solaio degli appartamenti verso interrato

STRATIGRAFIA STRUTTURA



Sp. 596 mm

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		5.900			0	0.169
2	Piastrelle	15	1.000	66.667	34.50	0.940	840	0.015
3	Massetto in calcestruzzo	45	1.410	31.333	90.00	2.600	1000	0.032
4	Pannello in polistirene (per posa impianto radiante)	35	0.035	1.000	1.05	6.433	1340	1.000
5	Barriera al vapore (foglio in polietilene)	1	0.350	350.000	0.95	0.004	1800	0.003
6	Pannello XPS - STYSOL	60	0.034	0.567	1.80	1.287	1450	1.765
7	Pannello XPS - STYSOL	60	0.034	0.567	1.80	1.287	1450	1.765
8	Calcestruzzo cellulare - SILOMASS 10	130	0.093	0.715	68.25	18.000	1000	1.398
9	Solaio monolitico in calcestruzzo	250	1.410	5.640	500.00	2.600	1000	0.177
10	Adduttanza Inferiore	0		5.900			0	0.169

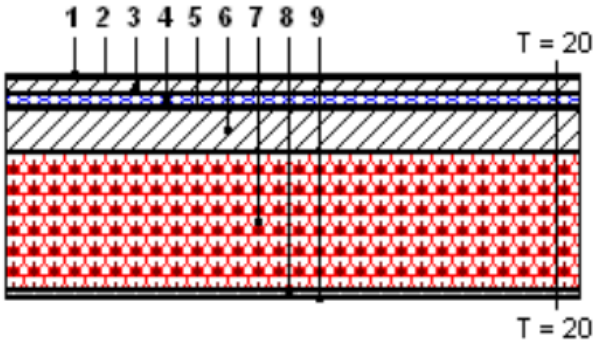
RESISTENZA = 6.493 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.154 W/m²K
SPESSORE = 596 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA = 61.884 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 698 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.00 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.02	SFASAMENTO = 21.89 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.4: stratigrafia solaio degli appartamenti verso il locale interrato

- Solaio interpiano

STRATIGRAFIA STRUTTURA



Sp. 575 mm

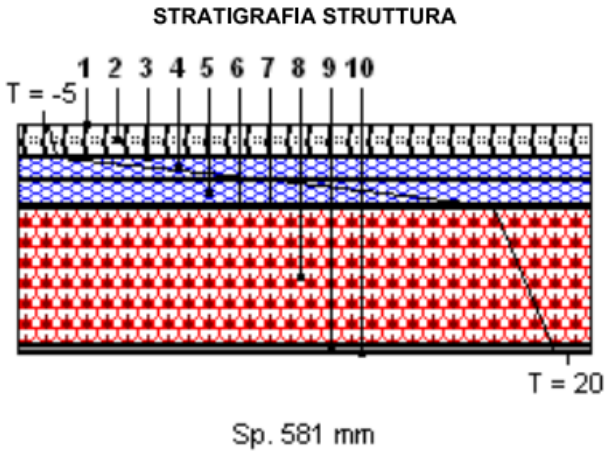
N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		5.900			0	0.169
2	Piastrelle	15	1.000	66.667	34.50	0.940	840	0.015
3	Massetto in calcestruzzo	40	1.410	35.250	80.00	2.600	1000	0.028
4	Pannello in polistirene (per posa impianto radiante)	35	0.035	1.000	1.05	6.433	1340	1.000
5	Materassino anticalpestio - ISOLGOMMA G5	5	0.067	13.400	0.15	19.300	1000	0.075
6	Calcestruzzo cellulare - SILOMASS 10	110	0.093	0.845	57.75	18.000	1000	1.183
7	Solaio in laterocemento	350		2.092	345.00	18.000	840	0.478
8	Intonaco	20	1.200	60.000	28.00	18.000	1000	0.017
9	Adduttanza Inferiore	0		5.900			0	0.169

RESISTENZA = 3.134 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.319 W/m²K
SPESSORE = 575 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA = 59.243 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 518 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.01 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.03	SFASAMENTO = 19.75 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.5: stratigrafia solaio interpiano

- Solaio copertura



N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		25.000			0	0.040
2	Ghiaia	80	1.200	15.000	136.00	37.500	840	0.067
3	Manto in geotessuto di polipropilene	3	0.500	166.667	1.03	4.825	1000	0.006
4	Pannello XPS - STYSOL	60	0.034	0.567	1.80	1.287	1450	1.765
5	Pannello XPS - STYSOL	60	0.034	0.567	1.80	1.287	1450	1.765
6	Membrana bituminosa singola	4	0.500	125.000	3.00	0.019	1000	0.008
7	Membrana bituminosa singola	4	0.500	125.000	3.00	0.019	1000	0.008
8	Solaio in laterocemento	350		2.092	345.00	18.000	840	0.478
9	Malta di gesso per intonaci	20	0.900	45.000	12.00	9.650	1000	0.022
10	Adduttanza Inferiore	0		10.000			0	0.100

RESISTENZA = 4.258 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.235 W/m²K
SPESSORE = 581 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA = 58.739 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 492 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.03 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.11	SFASAMENTO = 13.30 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

Figura 3.6: stratigrafia solaio di copertura

Com'è possibile notare dalle tabelle sopra riportate, la progettazione dell'involucro edilizio è stata efficacemente accurata e ha permesso il raggiungimento di ottime qualità di isolamento termico. Essendo stata presentata la SCIA (segnalazione certificata di inizio attività) nel luglio 2012, come già specificato, il decreto di riferimento per i requisiti minimi dell'involucro è il DGR 22/12/08 n.8745. Nell' anno di ultimazione dei lavori, ovvero nel 2015, i requisiti sono stati aggiornati dal D.D.U.O. 6480 del 30/07/15 come riportato nel precedente paragrafo.

La trasmittanza termica U delle pareti perimetrali varia da 0,171 W/m^{2}K a 0,192 W/m^{2}K a seconda del tipo di mattone utilizzato; il suo valore è circa la metà del limite imposto dal DGR 8745 (pari a 0,34 W/m^{2}K per zona climatica E). Il solaio verso l'interrato, con una trasmittanza pari a 0.154 W/m^{2}K, è più di due volte inferiore al limite imposto dalla stessa legge (pari a 0,33 W/m^{2}K). Le trasmittanze dei componenti sopra trattati rispettano anche gli attuali requisiti vigenti. Per il solaio di copertura è calcolato un valore di U pari a 0,235 W/m^{2}K, quest'ultimo è 1,3 volte inferiore al limite di riferimento. Lo stesso valore supera però il limite imposto dal D.D.U.O. 6480 pari a 0,22 W/m^{2}K.

Il solaio interpiano si distingue da quello verso i locali interrati dall'assenza di uno dei due strati di isolante.

In corrispondenza dei bagni non sono stati posati i pannelli radianti. Questo ha permesso di incrementare lo spessore del massetto in calcestruzzo da 4 cm a 7,5 cm. La trasmittanza della soletta dei bagni (pari a 0,495 W/m^{2}K) è, per tale motivo, superiore a quella della soletta

interpiano. Anche i negozi, come i bagni, sono privi di pannelli radianti.

Il solaio delle terrazze con unità immobiliari sottostanti ha una trasmittanza di 0.239 W/m2K. Il solaio di copertura ha una trasmittanza molto simile, nonostante lo spessore del suo strato isolante sia di 4 cm inferiore e l'unica altra differenza consista nello strato superficiale in cui le piastrelle sono sostituite dalla sabbia (presente a protezione dell'isolante nel solaio di copertura).

Il solaio delle logge esposte inferiormente verso l'esterno è rivestito da uno strato di isolamento a cappotto con spessore inferiore rispetto a quello delle pareti (5 cm anziché 10 cm); la trasmittanza risulta pari a 0.225 W/m^2K.

Gli infissi, con una trasmittanza minore di 1,8 W/m^2K, risultano anch'essi efficienti se confrontati con i limiti imposti dal DGR 8745- 22/12/2008 (2,2 W/m^2K), ma presentano valori superiori all'attuale limite di legge (pari a 1,4 W/m^2K per zona climatica E).

È da notare il fatto che le pareti di separazione tra unità immobiliari, ovvero tra zone riscaldate adiacenti, abbiano uno strato isolante di spessore doppio rispetto a quello presente all'interno dei muri confinanti con il corpo scale il quale, salvo poche eccezioni, è un locale non riscaldato (4 cm di isolante nelle pareti divisorie tra unità immobiliari e 2 cm nelle pareti verso il vano scale). Questo si ripercuote nel valore della trasmittanza delle due pareti, risulta che la resistenza termica delle pareti divisorie tra unità immobiliari sia circa il doppio di quella delle pareti verso il vano scale.

Al punto 6.a della relazione tecnica è inoltre riportato il numero di ricambi d'aria all'ora di tutte le unità immobiliari dell'edificio. La portata d'aria di ogni alloggio, nel caso di sola ventilazione meccanica, è dichiarata pari a 0,6 volumi all'ora.

Vengono infine riportati gli indici necessari a definire l'efficienza energetica degli impianti meccanici: il rendimento dei vari sottosistemi, l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, l'indice di prestazione energetica per la produzione di ACS e l'indice di prestazione termica per la climatizzazione estiva. L'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale deve rispettare i limiti imposti dal DGR n.8745. Il valore limite imposto dal decreto è ricavato dall'interpolazione, secondo i GG e il rapporto S/V di ogni edificio, dei valori contenuti nella tabella A.1.1.

I capitoli conclusivi della relazione specificano, come richiesto dal D.Lgs 28/2011 e dal DGR n.8745, le soluzioni adottate al fine di rispettare i limiti minimi di uso di risorse rinnovabili. Sono quindi messi alla luce i risultati ottenuti e le quote di consumo coperte dell'energia

rinnovabili grazie allo sfruttamento dell'energia geotermica.

Gli allegati ad ogni relazione riportano una tabella riepilogativa per ogni edificio e le schede di dettaglio delle caratteristiche e prestazioni energetiche di ogni unità immobiliare. La tabella di riepilogo contiene le principali informazioni riportate nell'attestato di certificazione energetica. Viene quindi specificato, oltre ai fabbisogni delle varie forme di energia, la classe energetica raggiunta e i dati di prestazione energetica, ovvero:

- Indice di prestazione termica per la climatizzazione estiva (ETc);
- Indice di prestazione termica per la climatizzazione invernale (ETh);
- Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (EPc);
- Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPh);
- Indice di prestazione energetica la produzione di ACS (EPw);

L'indice di prestazione energetica rappresenta il fabbisogno di energia primaria, riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (come la climatizzazione invernale EPh, estiva EPc, o la produzione di ACS EPw), rapportato all'unità di superficie utile degli ambienti a temperatura controllata o climatizzata per edifici di categoria E1; è espresso in kWh/m2 anno o kWh/m3 anno. [27]

L'indice di prestazione termica rappresenta il fabbisogno di energia termica, riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (come la climatizzazione invernale ETh, estiva ETc, o la produzione di ACS ETw), rapportato all'unità di superficie utile degli ambienti a temperatura controllata o climatizzata per edifici di categoria E1; è espresso in kWh/m2 anno o kWh/m3 anno.[28]

Tutte le unità residenziali risultano in classe energetica A secondo i limiti per la zona climatica E stabiliti DGR n.8745. Il valore di EPh è sempre compreso nell'intervallo 14 kWh/m^{2}anno < EPh < 29 kWh/m^{2}anno. Le unità adibite a commerciale risultano invece in classe energetica B.

Di seguito è riportata una tabella riepilogativa contenete gli indici ETh, EPh, ETc, EPw di ogni edificio.

[27] DGR 22/12/08 n.8745, Articolo 2.
[28] DGR 22/12/08 n.8745, Articolo 2.

	Cond.	Numero Civico			ETh progetto (residenziale)	EPh progetto (reseidenziale)	ETc progetto (residenziale)	EPw progetto (reseidenziale)
	[-]	[-]	[-]	[-]	[kWh/m2 anno]	[kWh/m2 anno]	[kWh/m2 anno]	[kWh/m2 anno]
Edificio 1	A			1	40,54	18,23	31,06	14,80
Edificio 2		2	2a	2b	35,05	17,70	40,39	14,48
Edificio 3			3	3a	37,24	16,13	27,72	14,52
Edificio 4	B			4	46,26	20,38	25,17	15,29
Edificio 5				5	50,39	24,48	27,21	15,73
Edificio 6			6a	6	48,53	23,07	21,52	15,37
Edificio 7	C		7	7a	46,50	23,23	23,45	16,88
Edificio 8			8	8a	45,73	22,13	23,91	16,07
Edificio 9	D		9	9a	53,90	23,88	28,16	25,01
Edificio 10	E			10	46,73	21,08	27,99	15,55
Edificio 11				11	49,26	22,92	33,98	15,74
Edificio 12				12	46,25	21,70	34,19	16,50
Edificio 13		18	18	13	56,01	27,40	28,72	14,60
Edificio 14	F		14a	14	49,36	23,24	35,79	14,17
Edificio 15				22	47,97	23,38	43,07	14,22
Edificio 16			24	24	47,21	22,19	36,14	15,15
Edificio 17	G		28	28	49,71	26,23	35,01	15,87
Edificio 18			28	28	47,72	21,59	34,71	14,13

Tabella 3.6. Indici ETh e EPh di ogni edificio.

4. Il Sistema di Monitoraggio Energetico Adottato

Nel complesso di edifici oggetto di studio è stato implementato un sistema di regolazione, monitoraggio e controllo distribuito sia a livello delle sottocentrali termiche che a livello degli alloggi e degli altri locali. Tale sistema è stato implementato al fine di monitorare i consumi energetici degli edifici e verificare la rispondenza di tali consumi con quelli previsti in fase di progettazione. Permette inoltre di controllare e ottimizzare il funzionamento del sistema edilizio e di determinare l'influenza del comportamento degli occupanti sul consumo energetico. Il sistema installato è caratterizzato da un'architettura ad intelligenza fortemente distribuita e al tempo stesso flessibile nelle funzionalità. La struttura modulare, la quale può supportare un'efficace personalizzazione delle modalità di funzionamento, permette future espansioni ed assicura che ogni elemento della catena rimanga autonomo dal sistema nel suo funzionamento, evitando la diffusione di problemi localizzati. Altro importante aspetto del sistema è la sua capacità di operare anche in assenza di supervisori.

Il sistema BEMS è stato sviluppato su tre punti cardinali:

- Architettura del sistema strutturata secondo uno schema ad albero;
- Gli elementi periferici del sistema godono della proprietà del bottom-up;
- Comunicazione tra i vari dispositivi e interconnessione basata sul protocollo BACnet ISO 16484-5.

Il primo punto è dettato dalla necessità di poter gestire nel complesso l'intero lotto potendo tuttavia controllare indipendentemente le varie sottocentrali ed edifici. Alla base dello schema ad albero si trovano i singoli alloggi e locali commerciali che raccolgono informazioni sulla loro gestione e sui consumi. Queste informazioni sono raccolte a livello di edificio. I vari edifici convogliano i dati alla sottocentrale a cui fanno capo, dopodichè tutte le informazioni convergono alla workstation della postazione di supervisione. Il supervisore, attraverso opportune pagine grafiche, può così gestire gli edifici e controllare sia le sottocentrali che gli alloggi da remoto, ricevere segnalazioni di allarmi, valori di consumo e altri dati che possono essere storicizzati per permetterne eventuali analisi.

La proprietà del bottom-up permette alle singole regolazioni effettuate in ogni alloggio di riverberarsi fino al livello di regolazione delle sottocentrali.

Lo standard BACnet attribuisce importanti proprietà allo specifico sistema installato. BACnet è un protocollo aperto, ovvero disponibile al pubblico, sviluppato da ASHRAE nel

dicembre del 1995. Grazie ai suoi numerosi pregi è stato adottato da ANSI diventando uno standard in America con il nome di ANSI/ASHRAE 135, ed è stato ulteriormente sviluppato da ISO. Questo protocollo viene incontro all'esigenza di realizzare una comunicazione di sistemi creati da diversi produttori e basati su protocolli proprietari. Grazie a specifici gateway riesce ad effettuare la traduzione tra diversi protocolli di comunicazione; ciò permette di espandere liberamente un sistema BMS nel tempo, favorendo la scelta dei dispositivi più adatti alle diverse necessità senza essere vincolati ad uno specifico produttore.

Le apparecchiature che compongono il sistema sono suddivise in sei classi dal protocollo BACnet ISO 16484-5, ognuna con specifici compiti e ruoli, secondo una logica gerarchica.

BACnet operator worckstation (B-OWN)	Dispositivo generale per il management del sistema.
BACnet building controller (B-BC)	Dispositivo programmabile in grado di eseguire diversi compiti.
BACnet advanced application controller (B-ACC)	Dispositivo di controllo per specifiche applicazioni programmabili.
BACnet application specific controller (B-ASC)	Controllore per specifiche applicazioni con limitata possibilità di programmazione.
BACnet smart actuator (B-SA)	Controllore con limitate risorse e progettato per specifiche applicazioni.
BACnet smart sensor (B-SS)	Dispositivo di rilevamento.

Tabella 4.1: Classi dispositivi BACnet

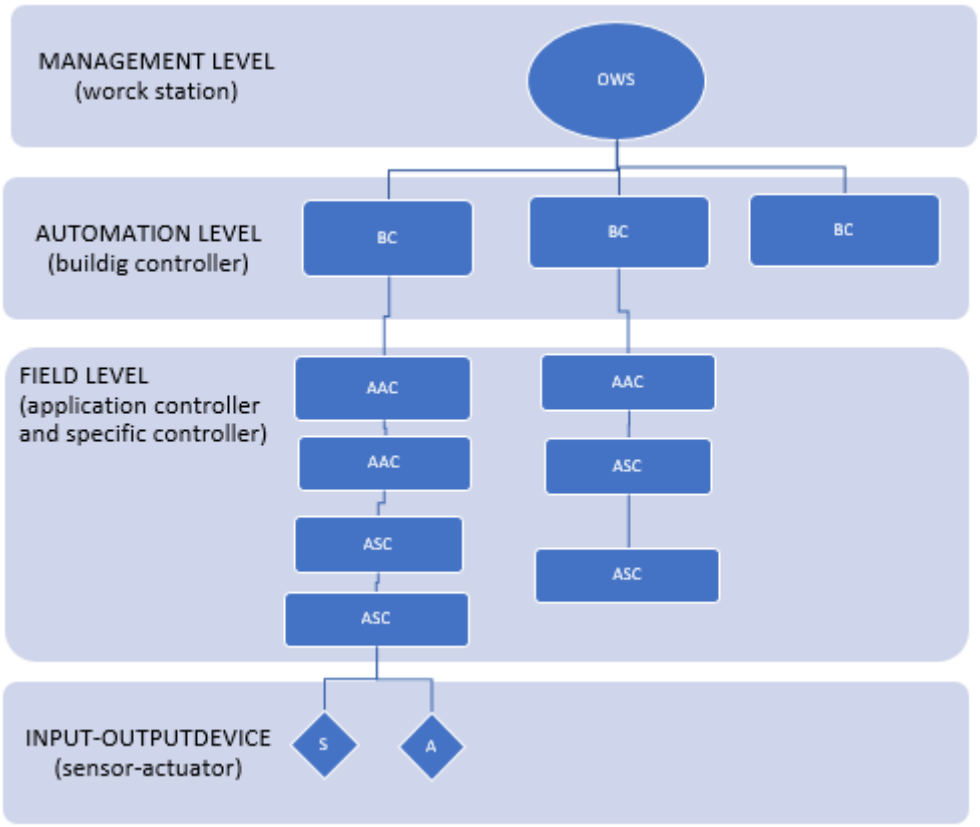


Figura 4.1: Architettura a livelli indicata dallo standard BACnet

A capo di tutto è presente la workstation in cui convergono tutte le informazioni. In conformità con la struttura adottata per l'architettura del sistema BEMS sono stati installati controllori appartenenti all'automation level, ovvero i building controller, nelle varie sottocentrali. Questi ricevono a loro volta dati da controllori di appartamento, appartenenti al field level, i quali operano nei vari edifici in cui convogliano le informazioni a livello di pianerottolo. Gli input e gli output dei controllori appartenenti al field level sono relativi rispettivamente ai sensori e agli attuatori installati nelle varie zone.

Tutti i dispositivi (in totale 504 meters per l'energia elettrica più 65 a servizio dell'HVAC) sono connessi fra di loro mediante BUS RS-485 MS/TP, Ethrnet e IP e possono comunicare in assenza di intermediari o altri livelli di traduzione.

4.1. Regolazione e monitoraggio per alloggi, edifici e sotto-centrali

In ogni alloggio un dispositivo BACnet che supporta l'interfaccia con gli utenti gestisce la temperatura nella zona, permettendo la regolazione dei set-point desiderati nei diversi periodi temporali definiti dall'utente. Questa regolazione avviene tramite il comando della valvola a due vie presente nella cassetta di stacco delle tubazioni a servizio dell'alloggio. Il dispositivo

con funzione di cronotermostato ambiente è predisposto per essere settato dall'utente secondo sette modalità diverse.

Presenza	Set-point di temperatura fisso in caso di presenza degli occupanti, ovvero secondo un calendario preimpostato.
Presenza temporanea	Permette di impostare il set-point di temperatura da mantenere in caso di presenza e il calendario di attivazione di tale set-point.
Presenza forzato	Imposta il set-point di temperatura per il comfort senza limiti di tempo.
Assenza	Nella modalità Eco viene considerato il set-point di temperatura impostato per i periodi di assenza degli occupanti. In modalità automatica tale set-point è mantenuto seguendo un calendario preimpostato.
Assenza temporanea	Permette di impostare il set-point di temperatura da mantenere in caso di assenza e il calendario di attivazione di tale set-point.
Assenza forzata	Il set-point impostato per la modalità eco è mantenuto senza limiti di tempo.
Protezione	Spegnimento forzato degli impianti ed accensione della protezione antigelo

Tabella 4.2: Regolazioni cronotermostato ambiente

I dispositivi installati negli alloggi sono tutti BACnet nativi e pertanto è possibile agire in ogni istante per modificare, adattare e anche riscrivere l'algoritmo di regolazione. È possibile gestire la modalità di funzionamento degli impianti di riscaldamento e raffrescamento anche da remoto agendo sulle logiche di regolazione. Questi permettono inoltre di rilevare e visualizzare in tempo reale i seguenti dati relativi alla conduzione degli alloggi effettuata dagli utenti:

- Temperatura [°C];
- Umidità relativa [%];
- Set-point impostati;
- Presenza-assenza: in caso di regolazione impostata su protezione viene rilevato lo stato di assenza. Negli altri permette di attuare

l'attenuazione notturna degli impianti; dalle 8:00 alle 22:00 viene impostata dal sistema la presenza senza possibilità di modifiche da parte degli utenti e la temperatura nei locali è regolata dai set-point impostati, mentre nella restante parte della giornata viene settata l'assenza e forzata l'attenuazione notturna degli impianti.

- Calendario semplice giornaliero, settimanale e combinazioni (lunedì-venerdì e sabato-domenica);
- Calendario di sistema avanzato (impostazioni dell'accensione secondo giorno, settimana, mese, anno, festività);
- Allarmi di regolazione: un algoritmo permette il calcolo del punto di rugiada del pavimento refrigerato e blocca l'invio di acqua fredda ai pannelli radianti nel caso in cui venga raggiunta tale temperatura (blocco umidità);
- Modalità di funzionamento impostata per l'alloggio.

Tutte queste informazioni vengono inviate ad un concentratore "di pianerottolo" che raccoglie da uno a quattro alloggi.

In sette negozi sono presenti fino a tre cronotermostati per permettere una regolazione della temperatura multi-zona. Allo stesso dispositivo fanno inoltre capo i contatermie e contatori volumetrici installati nelle cassette di stacco delle tubazioni a servizio di ogni alloggio o di altri locali. Per ogni alloggio sono stati installati due contatori volumetrici di tipo Woltman che permettono di contabilizzare separatemene l'acqua calda sanitaria e l'acqua fredda sanitaria. Questi utilizzano una turbina a mulinello Woltmann. Il numero di giri della stessa è direttamente proporzionale alla quantità di fluido circolante. Il movimento rotatorio viene poi trasmesso attraverso un meccanismo calibrato al totalizzatore meccanico e al dispositivo lancia-impulsi, che provvede ad inviare il comando per la chiusura di un contatto Reed. L'impulso elettronico viene ricevuto dallo stesso calcolatore che permette il calcolo dell'energia termica e da questo inviato al concentratore di pianerottolo.

L'energia termica è misurata da un contacalorie. Questo strumento è costituito da un sensore di flusso tipo Woltmann, una coppia di sonde di temperature ed un calcolatore. Il calcolo si basa su tre ipotesi:

- Moto stazionario di flusso monodimensionale (non ci sono componenti di velocità in direzione normale a quella principale) nella sezione di misura;

- Assenza di perdite e prelievi di fluido;
- Trascurabilità dei termini cinetici e potenziali.

Il valore dell'energia termica consumata da ogni unità immobiliare può così essere calcolato come integrale nel tempo della differenza di entalpia tra il circuito di mandata e quello di ritorno attraverso la formula:

$$E=\int(\Delta T \cdot \rho \cdot q \cdot C_p)\, dt \qquad (4.1)$$

Dove:

- E è l'energia termica scambiata attraverso i terminali di impianto nelle singole unità immobiliari misurata, nel caso specifico, in kWh.
- ΔT è la differenza di temperatura fra il fluido circuitante nella tubazione di ingresso e quello nel condotto di uscita dall'appartamento. Nel caso in cui tale differenza sia positiva l'energia termica misurata viene riconosciuta come spesa per il riscaldamento, mentre nel caso di delta negativo il calcolatore registra il valore di misura come energia frigorifera. Si misura in K.
- ρ è la densità nel punto di misura della portata ($kg \cdot m^{-3}$);
- q è la portata misurata sulla tubazione in uscita dall'appartamento. La portata viene misurata sulla tubazione in uscita perché in periodo invernale il fluido in essa contenuta è a temperatura inferiore e ciò implica una minor usura dello strumento. La portata è misurata in ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- C_p è il calore specifico massico medio del fluido ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

La stima della densità e del calore specifico medio del fluido sono ricavati dall'appendice A della EN 1413-1 dal titolo "Industrial standard for the thermodinamic properties of water and stream".

In tutti i locali serviti da termoconvettori sono presenti nelle cassette tecniche, oltre ai due contatori volumetrici per ACS e AFS, due contatermie. Questi permettono la contabilizzazione contemporanea dell'energia termica e frigorifera che può essere inviata a zone diverse degli stessi.

Oltre a quanto sopra elencato vengono inoltre raccolte le seguenti informazioni per ogni unità immobiliare:

- Energia termica per riscaldamento;
- Energia termica per raffrescamento;
- Volume di acqua calda sanitaria;
- Volume di acqua fredda sanitaria;
- Codici errori dei contatermie e contatori volumetrici;
- Stato di comunicazione dei dispositivi di cui sopra;
- Temperatura dell'acqua di mandata ai terminali di impianto;
- Temperatura dell'acqua di ritorno dai terminali di impianto;
- Flusso di acqua circolante nei terminali di impianto.

Per ogni di edificio (o meglio dire per ogni corpo di scale) identificato da un numero civico, si registrano i dati di consumo elettrico totale dovuto ai servizi comuni, i consumi elettrici degli eventuali ascensori e i consumi elettrici delle UTA. Dalla differenza fra il primo termine e i successivi due si ricava così il consumo elettrico dovuto alle luci presenti nelle scale. Ad ora le UTA non sono gestibili da remoto tramite il BMES, ma si sta provvedendo ad implementare anche questa funzionalità. Tuttavia sono monitorati e archiviati i seguenti dati registrati dai controllori che gestiscono le unità di trattamento aria:

- Allarme generale;
- Allarmi per problemi di funzionamento della macchina;
- Dati relativi al funzionamento del compressore interno all'UTA;
- Portata di mandata (mc/h);
- Portata di ripresa (mc/h);
- Pressione di mandata e ripresa (Pa);
- Stato unità;
- Set-point di regolazione della macchina;
- Temperatura dell'aria di mandata ai locali (°C);
- Temperatura dell'aria di ripresa dai locali (°C);
- Umidità relativa (%) e specifica (g/kg) dell'aria di mandata;
- Umidità relativa (%) e specifica (g/kg) dell'aria di ripresa;
- Temperatura dell'aria esterna (°C) e umidità relativa (%) dell'aria esterna.

Sul tetto di sette edifici, uno per ogni condominio, una sonda di temperatura montata su un muro con esposizione a nord permette la rilevazione della temperatura esterna.

Prima di approfondire come il sistema di controllo e monitoraggio sia incrementato a livello di sottocentrale sarà necessario precisare che nella S.08 il BMES non presenta lo stesso grado di sviluppo visibile nelle restanti sette centrali termiche. Per questa sottocentrale non vengono gestiti dal sistema i vari componenti e vengono solamente monitorati tramite multimentri i consumi elettrici generali e delle due PdC.

Nelle sottocentrali codificate con numero compreso tra 1 e 7 è presente un quadro di regolazione e controllo BACnet nativo completo di controllore con interfaccia touch (BACnet operator display, B-OD) che permette di avere una gestione in locale di tutti gli elementi. Tutti i principali componenti delle centrali per la produzione di energia termica, ovvero le valvole, gli scambiatori a piastre, le sonde di temperatura, le PdC, il puffer, le pompe e i boiler (il cui funzionamento è stato presentato nel capitolo 2) sono interfacciati al sistema BEMS e da questo gestibili. Oltre a poter agire singolarmente su ogni componente per effettuare prove di funzionamento, il controllo delle sotocentrali è attuato tramite la gestione di variabili di imput, alcune delle quali visibili nella Tabella 2.2. A partire da queste, una serie di algoritmi implementati nella logica del sistema di gestione agisce sulla regolazione delle sottocentrali. Viene in questo modo gestito il funzionamento dei singoli dispositivi installati, attivando o disattivando alcuni componenti dell'impianto delle centrali termiche, piuttosto che spegnendo, accendendo o modulando la potenza di lavoro delle varie macchine. Gli stessi dispositivi di controllo permettono anche il monitoraggio, i valori assunti nel tempo delle principali grandezze vengono archiviati al fine di permettere la generazione di analisi e statistiche energetiche. Per ogni sottocentrale è disponibile lo storico dei dati delle seguenti grandezze:

- Energia elettrica generale: consumo totale dovuto a tutti i dispositivi elettrici presenti in sottocentrale comprese le luci.
- Allarmi delle PdC e pompe di circolazione;
- Temperature in °C dell'acqua di falda,
- Temperatura in °C dell'acqua di falda dopo l'uscita dai due scambiatori (acqua inviata ai pozzi disperdenti);
- Temperatura nei collettori a valle dei due scambiatori (°C);
- Temperatura dell'acqua di ingresso in ogni PdC nel lato sorgente (°C);
- Temperatura dell'acqua di uscita da ogni PdC nel lato sorgente (°C);
- Temperatura dell'acqua di invio da ogni PdC agli impianti di riscaldamento e raffrescamento (°C);

- Temperatura dell'acqua di invio da ogni PdC al puffer a servizio del sotto-impianto per generazione di ACS (°C);
- Energia elettrica consumata da ogni PdC (kWh);
- Energia termica per riscaldamento o raffrescamento di ogni PdC nelle sole sottocentrali 4 e 7 (MWh);
- Energia termica prodotta da ogni PdC per la generazione di ACS nelle sole sottocentrali 4 e 7 (MWh);
- Temperatura dell'acqua nel collettore a valle delle PdC a servizio del sotto-impianto per riscaldamento e raffrescamento;
- Temperatura dell'acqua nel puffer (°C);
- Temperatura dell'acqua nei due boiler (°C).

Dalla differenza fra il consumo generale per la sottocentrale e l'energia elettrica utilizzata dalle due PdC si ricava il consumo di energia elettrica dovuto ai sottoservizi di centrale, ovvero ai componenti elettrici dell'impianto (pompe di circolazione, valvole motorizzate, resistenze elettriche, ecc.) e alle luci.

Lo stesso controllore livello B-BC in sottocentrale raccoglie, oltre a tutte le informazioni già esposte (regolazione alloggi, dati sugli edifici serviti dalla stessa sottocentrale, dati sulla gestione della stottocentrale), i consumi elettrici registrati da multimetri presenti nei quadri elettrici a servizio del complesso di edifici. Innanzitutto viene monitorato il consumo elettrico in corrispondenza dei due trasformatori a capo dell'impianto elettrico, ovvero i consumi elettrici totali dovuti a tutti servizi del lotto. I due trasformatori lavorano in relazione di mutuo back-up e vengono monitorati separatamente i consumi di energia elettrica attuati durante il funzionamento di ognuno di essi, così da bilanciare il lavoro delle due macchine. Viene poi misurato il consumo elettrico dovuto alle pompe a servizio dei pozzi per l'emungimento dell'acqua di falda, il consumo dovuto all'illuminazione esterna e il consumo (calcolato per ogni condominio) delle luci installate nelle autorimesse. La somma di queste ultime tre voci, a cui si aggiunge ancora il contributo del consumo generale dovuto alle varie sottocentrali e il consumo generale di ogni condominio, corrisponde (a meno della ridotta quota dele perdite di rete) al consumo misurato nello stesso periodo in corrispondenza dei trasformatori.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva con specificate le caratteristiche dei principali contatori e sensori installati.

Dispositivi di misurazione	Paramenti misurati	Tipo di sensore	Range di misura	Classe di precisione	Timestep di misura
Contatore di energia elettrica	Energia elettrica	Multimetro digitale	10-500 V rms /50 mA-5° rms	1	15 min
Contatore di energia elettrica	Energia elettrica	Multimetro digitale	3x 220-240 VAC (-20%-+15%)	B	15 min
Contatore d'acqua	Flusso d'acqua	Contatore Woltmann	10-2500 l/h	+/-5%	2 h
Sensore temperatura aria interna	Temperatura	Thermistor	0-55 °C	+/- 0.2°C	15 min
Contatore di energia termica	Flusso d'acqua e temperatura	Contatore Woltmann più due sonde di temperatura e un calcolatore	10-2500 l/h	EN 1434 1:2007 classe 3	2 h
Sensore di umidità dell'aria	Umidità relativa	Igrometro	10 – 90 % RH	+/- 3% RH	15 min

Tabella 4.3 caratteristiche principali contatori e sensori di misura installati

4.2. I dati raccolti

Tutti i dati, dopo essere stati convertiti in oggetti BACnet, sono resi accessibili attraverso uno specifico software di facility management. Si tratta di un front-end web-based che,

collegandosi alla rete del BEMS, mette a disposizione una serie di funzioni appositamente pensate per i diversi livelli di accesso con cui gli utenti possono collegarsi. Questo potente strumento permette di visualizzare, scaricare e gestire tutte le informazioni sopra descritte. A seconda delle credenziali di accesso permette di accedere ai soli dati relativi ad un singolo alloggio (livello di accesso base pensato per i locatari) fino ad arrivare alla visualizzazione e gestione dell'architettura del sistema e di tutti i dispositivi interconnessi. Comprende una serie di dashboard customizzabili, reports e schede grafiche studiate per l'energy management. Questi assistono il gestore dell'impianto e la proprietà nella definizione di possibili ottimizzazioni del funzionamento del sistema edilizio e permettono inoltre al gestore dell'edificio il controllo dei costi e l'allocazione delle spese secondo lo standard nazionale UNI 10200.

La Figura 4.2 mostra un esempio delle informazioni ottenibili tramite la piattaforma del sistema BMS.

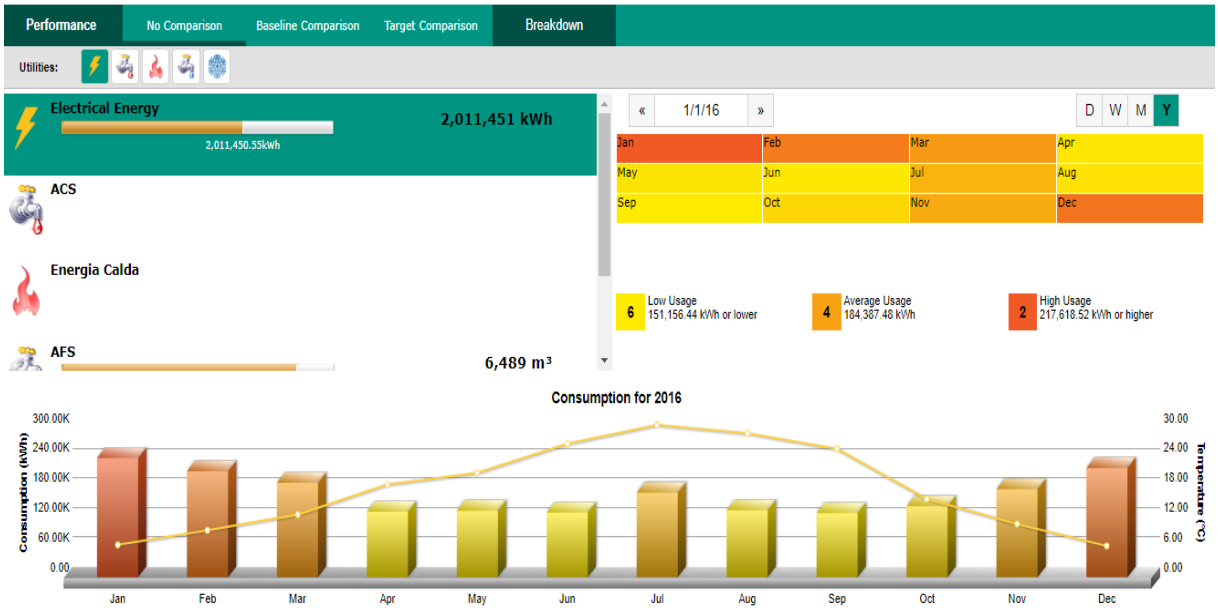


Figura 4.2. Esempio di grafico ricavabile dal software front-end del sistema BEMS. Consumo totale di energia elettrica nell'anno 2016.

La Figura 4.2. riporta un esempio delle informazioni ricavabili dalla sezione Energy riferite ai consumi elettrici per l'intero complesso di edifici e per l'intero anno 2016. Nel riquadro in alto a destra sono riepilogati i consumi elettrici, termici, di ACS e AFS. Nel riquadro a sinistra una mappa a colori permette di visualizzare rapidamente l'andamento dei consumi mese per mese: in rosso i mesi nei quali il consumo elettrico è stato superiore alla media, in arancione i consumi mensili attorno alla media ed in giallo i mesi con consumo al di sotto della media. In basso un istogramma permette di visualizzare l'ammontare dei consumi in ogni mese e la linea

gialla rappresenta l'andamento della temperatura esterna. Quest'ultima è calcolata come media delle temperature rilevate dalle sette sonde installate nel lotto.

Come facilmente intuibile dalle informazioni riportate nel precedente paragrafo, la principale quota di spesa di energia elettrica è dovuta al consumo registrato a livello delle sottocentrali. Questo risulta di molto superiore ai consumi per l'illuminazione e l'utilizzo degli ascensori. Risulta anche superiore al consumo delle UTA e al consumo legato al funzionamento dei pozzi. Ne segue quindi che il consumo totale di energia elettrica risulta fortemente influenzato dall'energia elettrica assorbita delle sottocentrali, la quale ha un andamento prevedibile e legato al variare della temperatura esterna. L'istogramma riportato nella Figura 4.2. verifica quanto detto. Come si può osservare i consumi sono maggiori nei mesi di riscaldamento, in cui la temperatura media mensile esterna raggiunge i valori minori per via della maggior potenza a cui devono lavorare le PdC; e a luglio, in cui la temperatura esterna raggiunge il picco massimo. Come giustificazione del fatto che in quest'ultimo mese l'ammontare dell'energia elettrica utilizzata si attesta su valori inferiori a quelli registrati nei mesi centrali del periodo di riscaldamento, si potrebbe pensare al minor carico di lavoro sulle pompe di calore, le quali possono smaltire l'acqua di ritorno dagli impianti di raffrescamento generando a minor costo l'ACS.

Attraverso le varie voci della sezione in alto a destra (Energia calda, ACS, ecc.) è possibile visualizzare i relativi consumi nello stesso periodo, mentre attraverso i due riquadri in alto a sinistra è possibile scegliere il periodo di interesse per la visualizzazione dei dati e la loro suddivisone temporale. Gli stessi dati infatti possono essere suddivisi in intervalli annuali, mensili, settimanali o giornalieri.

Oltre a poter essere rappresentati secondo diversi intervalli temporali, i dati sono riproposti nella stessa sezione secondo altre modalità di rappresentazione al fine di permettere diverse analisi. È possibile, per esempio, confrontare i consumi energetici di ogni periodo con i consumi effettuati nello stesso arco temporale ma riferiti all'anno precedente o suddividere ogni macro-voce di consumo nei sui sottotermini. Nella Figura 4.3. l'energia elettrica utilizzata dagli impianti di HVAC è scomposta nelle sue principali voci di consumo.

A conferma di quanto sopra riportato si vede che, su un totale di 2.011 MWh elettrici consumati nel 2016, 825 MWh (pari al 41 %) sono stati assorbiti dalle PdC.

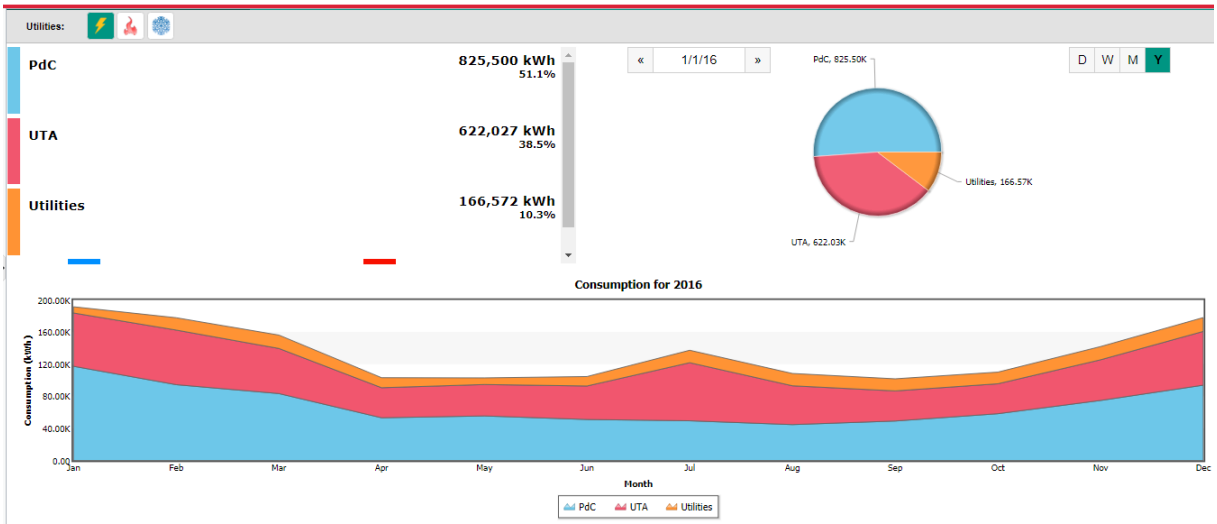


Figura 4.3. Esempio di grafico ricavabile dal software front-end del sistema BEMS. Suddivisione del consumo elettrico.

La sezione Gestione tecnica permette di ricavare tutte le informazioni legate alla conduzione delle unità immobiliari, come si evince dalla Figura 4.4. Per ogni alloggio sono visibili i set point di temperatura impostati (14° colonna) e le condizioni termoigrometriche rilevate al suo interno. Da qui è anche possibile gestire e modificare il calendario di accensione degli impianti e i set-point di temperatura interna.

	1	N1101	S07	A	6A	Protezione	Avanzato	-	26,3	-	-	La Musa ONLUS Coop. Sociale	1				
☑	2	1111	S07	A	6A	Protezione	Semplice	No	25,7	35,3	25,0	investiRE	0				
	3	1112	S07	A	6A	Protezione	Semplice	No	24,3	35,9	25,0	investiRE	0				
	4	1113	S07	A	6A	Presenza forz.	Semplice	No	25,0	39,4	25,0	Stefania Brancati	2				
	5	1121	S07	A	6A	Presenza forz.	Semplice	No	25,1	57,4	25,0	Gennaro Murolo	4				
	6	1122	S07	A	6A	Presenza forz.	Semplice	No	25,5	48,0	25,0	Diagne Ibrahima	4				
	7	1123	S07	A	6A	Auto	Semplice	No	25,0	41,9	25,0	Beata Malgorzata Caba	3				
	8	1131	S07	A	6A	Presenza forz.	Semplice	No	25,6	37,2	25,0	Roberta Campaiola	2				
	9	1132	S07	A	6A	Protezione	Semplice	No	26,2	34,0	33,0	Don Prageeth Priyashantha Kaluthanthrige	4				

Figura 4.4. Esempio di pagina da cui gestire e visualizzare le informazioni sulle unità immobiliari. Screenshot della sezione Gestione tecnica.

Dalla sezione Graphics si accede alle schede di stato operativo di tutte le PdC e UTA oltre che ad una serie di schede riportanti valori istantanei di misure effettuate da contatori e sensori introdotti nel precedente paragrafo.

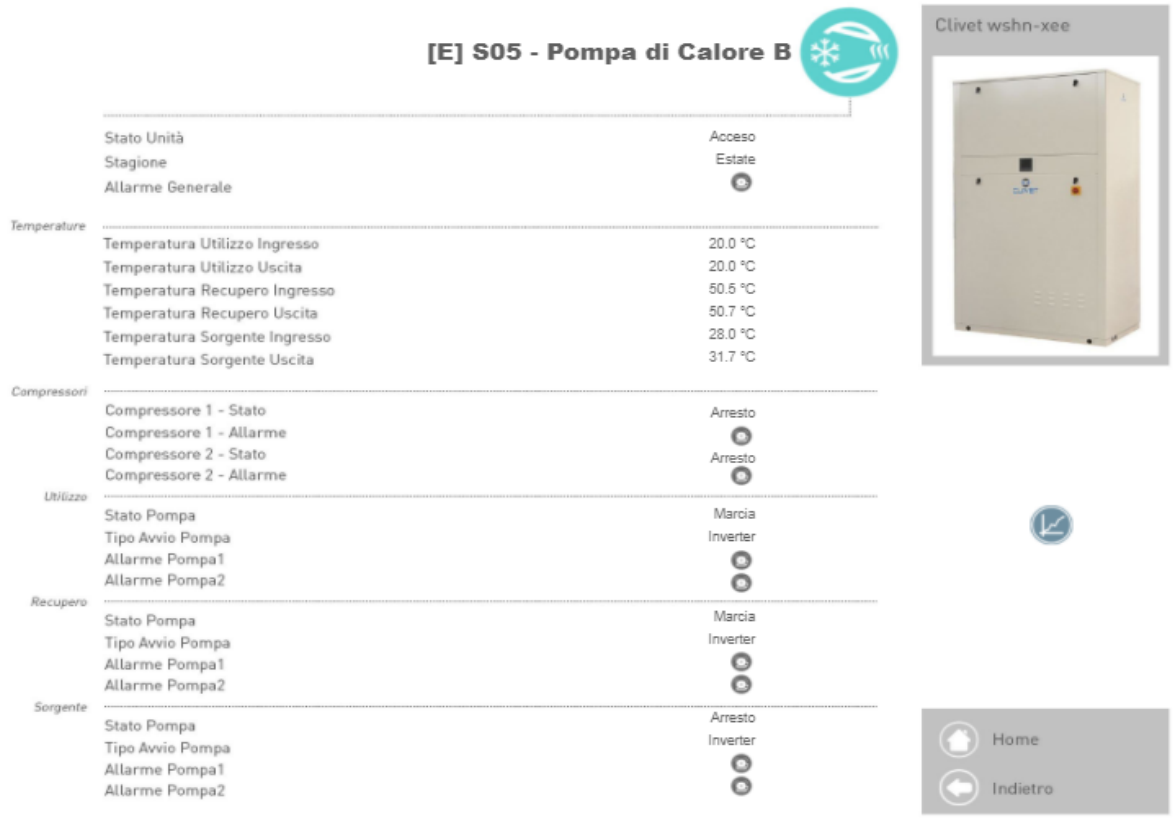


Figura 4.5. Esempio di scheda di stato operativo istantaneo di PdC appartenete alla sottocentrale 5. Screenshot effettuato dalla sezione Graphics.

Tutti i dati relativi ai consumi elettrici suddivisi per i singoli contributi e ai consumi di energia termica, frigorifera di ACS e AFS di ogni unità immobiliare sono visibili e scaricabili dalla sezione Ripartizioni. Per effettuare lo scaricamento sono richiesti i giorni di inizio e fine del periodo di interesse per la visualizzazione dei consumi e il COP o EER teorico da assegnare alle PdC. Quest'ultimo dato è necessario al fine di permettere il calcolo dei kWh di energia termica prodotti da ogni macchina a partire dai valori misurati di consumo di energia elettrica (kWh). L'energia termica prodotta dalle pompe di calore è infatti monitorata nelle sole due sottocentrali S04 e S07. Conoscere questa informazione è importante al fine del calcolo dei cosiddetti consumi involontari, ovvero l'energia termica dispersa in ambiente dalla rete di distribuzione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. I consumi involontari, oltre a permettere la determinazione dell'efficienza del sistema di distribuzione, sono necessari al fine della ripartizione del costo del calore prodotto dai generatori.

Completato il download dei dati nella scheda Ripartizioni è possibile visualizzare i risultati navigando tra le pagine "Elettrico", "Termico-Acqua" e "Sottocentrali". La pagina "Elettrico" specifica l'ammontare dei kWh elettrici consumati da ogni voce monitorata. Essendo il valore di consumo misurato dai vari contatori un numero progressivo che a partire dalla data di

installazione dello strumento è sempre in crescita, l'energia utilizzata in un determinato periodo di tempo è ricavato come differenza tra il primo valore archiviato nel giorno seguente a quello di interesse e il primo valore disponibile della start-date del periodo temporale analizzato. I due valori relativi all'ammontare del consumo all'inizio del periodo analizzato e alla sua fine sono riportati in specifiche colonne per ogni voce nella stessa pagina.

Nella pagina "Termico-acqua" sono specificati per ogni unità immobiliare del complesso di edifici le seguenti informazioni:

- Condominio di appartenenza;
- Piano di collocazione;
- Sottocentrale a cui fa capo;
- Numero identificativo dell'alloggio (N.I.) e codice identificativo (C.U.I);
- Superficie utile dell'unità immobiliare (m^2): sono esclusi balconi, terrazze, armadi a muro, cantine, soffitte non abitabili e tutti gli eventuali spazi comuni;
- Metri quadri commerciali dell'unità immobiliare (m^2): sono comprese tutte le superfici, incluse quelle coperte da pareti interne e perimetrali. Ad ogni ambiente è attribuito un peso in funzione del loro valore come indicato nella norma UNI 10750.
- Numero di occupanti;
- Primo valore utile registrato dal contatore alla data immessa come inizio periodo di riferimento per ETh (kWh), ETc (kWh), ACS (m^2), AFS (m^2);
- Primo valore utile registrato dal contatore nel giorno successivo alla data immessa come fine periodo di riferimento per ETh (kWh), ETc (kWh), ACS (m^2), AFS (m^2);
- Consumo di ETh (kWh), ETc (kWh), ACS (m^2), AFS (m^2);
- Consumo di ACS in kWh.

Per il calcolo di quest'ultimo valore si utilizza la Formula 4.1 riportata nel precedente paragrafo. Tuttavia in questo caso si conosce solamente il flusso di ACS misurato dai contatori volumetrici. Si ipotizza quindi che l'energia termica associata all'ACS sia pari a quella spesa per innalzare la temperatura dell'acqua di acquedotto da 15 °C (valore in accordo con quanto riportato nella UNI 9182) a 48 °C in accordo con quanto riportato nel prospetto 32 della UNI

11300-2. Il ΔT risulta quindi pari a 33 °C. Considerando inoltre il calore specifico massico dell'acqua pari a 4186 J/kg*K, la densità pari a 1000 kg/m^3 e volendo calcolare l'energia termica associata all'ACS in kWh , dalla Formula 4.1 si ricava che:

$$E=\int(\Delta T \cdot \rho \cdot q \cdot C_p)\, dt = \frac{\int(33 \cdot 1000 \cdot q \cdot 4186)\, dt}{3600} = 38.37 * V \qquad (4.2)$$

Dove V [m^3] è il volume di acqua consumata nell'intervallo di tempo considerato nell'analisi.

Infine, la pagina Sottocentrali permette di ottenere informazioni sui consumi involontari. Per le sette sottocentrali comprese tra la S01 e la S07 è riportato il consumo elettrico generale, quello di ogni PdC e, per differenza, quello dei servizi. Moltiplicando il COP o EER immesso prima dello scaricamento per l'EE assorbita da ogni PdC viene ricavata l'energia termica teoricamente prodotta da ogni generatore. In un altro gruppo di colonne sono poi riportati i kWh di energia termica e di ACS che risultano consumati, nel medesimo periodo, da tutte le unità immobiliari servite dalla stessa sottocentrale. La frazione di energia termica associata all'ACS utilizzata sul totale dell'energia termica consumata a livello di condominio (somma di energia termica per riscaldamento/raffrescamento e consumo ACS in kWh) permette il calcolo della percentuale di energia termica prodotta a livello di sottocentrale per la generazione di sola acqua calda sanitaria. Dalla differenza tra l'energia termica totalmente prodotta a livello delle sottocentrali e quella utilizzata per la generazione di ACS si ottiene energia termica prodotta per la sola climatizzazione. Infine vengono ricavate le perdite della rete di distribuzione degli impianti di condizionamento come minuendo tra la quota prodotta e quella che risulta essere stata consumata. Nello stesso modo vengono ricavate le perdite di accumulo e ricircolo dell'ACS.

Le perdite involontarie ottenute mediante la scheda sottocentrale con i calcoli sopra esposti sono frutto di importanti semplificazioni e necessitano perciò di essere considerate con attenzione. Bisogna innanzitutto sottolineare che ai consumi involontari relativi all'ACS è dato lo stesso peso delle perdite di distribuzione degli impianti di condizionamento. Non viene tenuto conto di altre importanti variabili in gioco quali la diversità di temperatura dei fluidi e diverse dimensioni e lunghezze dei due circuiti di distribuzione del fluido.

È necessario spendere alcune parole sul valore di COP o EER che è possibile immettere per effettuare i calcoli. Cambiando il COP/EER cambia il valore di energia termica che risulta essere prodotto dalla sottocentrale, ma rimane costante il valore dei kWh termici che risultano consumati nelle unità immobiliari (poiché contabilizzati separatamente da uno specifico

strumento). Ne segue che la differenza fra l'energia che risulta essere fornita dalla pompa di calore e quella effettivamente consumata deve essere pari alle perdite dell'impianto di distribuzione e accumulo nel caso di ACS. Considerando la stagione di riscaldamento 2016/2017 (inizio 15/10/2016-fine 15/04/2017) e un COP come quello dichiarato nella relazione tecnico illustrativa degli impianti meccanici ed idro-sanitari (pari a 4,5) risulta che in media per le sette sottocentrali il 43,2% dell'energia termica prodotta vada persa per dispersione nell'ambiente prima di essere consegnata nelle unità immobiliari. Le perdite involontarie così calcolate raggiungono un picco del 50% per la S02. Come facilmente intuibile, è inverosimile che le dispersioni ammontino a tale valore; segue quindi che il COP effettivo della macchina debba essere inferiore a quello dichiarato dal costruttore. Un'incidenza ragionevole dell'ammontare delle perdite di distribuzione potrebbe essere stimato a partire dai valori di rendimento di distribuzione riportato nel prospetto della UNI 11300-2. Considerando un'incidenza media dei consumi involontari più ragionevole, pari al 20% sul totale dell'energia termica fornita dalle sottocentrali, si ricava un COP per ogni pompa di calore pari a 2,73, ovvero più di una volta e mezzo inferiore a quello previsto in fase di progetto. Questo calcolo evidenzia una scarsa efficienza delle pompe di calore.

Tutti le informazioni presenti nelle tre schede sopra descritte sono esportabili in file CSV (*Comma Separated Values*).

Gli stessi dati contenuti nelle tre pagine della scheda ripartizione sono ottenibili grazie un apposito file Excel. Quest'ultimo è implementato con una macro che permette lo scaricamento dei dati dallo stesso database di riferimento per il software di facility management.

Per analisi particolari o che necessitino di informazioni non rappresentate nelle varie pagine grafiche è possibile accedere allo storico dei dati monitorati conoscendo l'indirizzo identificativo del controllore che gestisce la grandezza misurata. Il codice identificativo univoco del dispositivo permette di filtrare in modo rapido, attraverso un menù di ricerca, la grandezza cercata. Si giunge in questo modo ad identificare l'*Analog* o *Digital Input Object* (AI o DI), ovvero gli oggetto che trasformano i segnali di ingresso provenienti dai vari sensori in un numero reale, mentre per i valori immessi da persone (come succede per i set-point) si trovano i *Value Object* (AV, DV, MV). Nel caso in cui il controllore abbia anche il compito di comandare un attuatore, per esempio le valvole e le pompe a servizio degli impianti di riscaldamento, allora è possibile trovare *Output Object* nella lista di oggetti sottostanti al dispositivo selezionato. A tutte le grandezze monitorate viene associato agli *Input/Output Object* o *Value Object* il *Trend Log Object* (TL), ovvero l'oggetto che raccoglie campioni.

L’oggetto TL può raccogliere i campioni periodicamente su un intervallo di tempo fisso o a seguito di una sua significativa modifica. I dati raccolti sono formati da un valore restituito dall’oggetto associato alla grandezza e da un timestap che specifica l’istante temporale a cui risale il valore. I valori vengono quindi inizialmente registrati nella memoria interna del buffer dell’oggetto TL e successivamente trasferiti ad un archivio periferico di maggior capacità di archiviazione.

Identificato il TL associato ai dati di interesse è possibile accedere alla TL object page con un semplice click sul nome dell’elemento e visualizzare tutti i campioni a disposizione in forma grafica o tabulare.

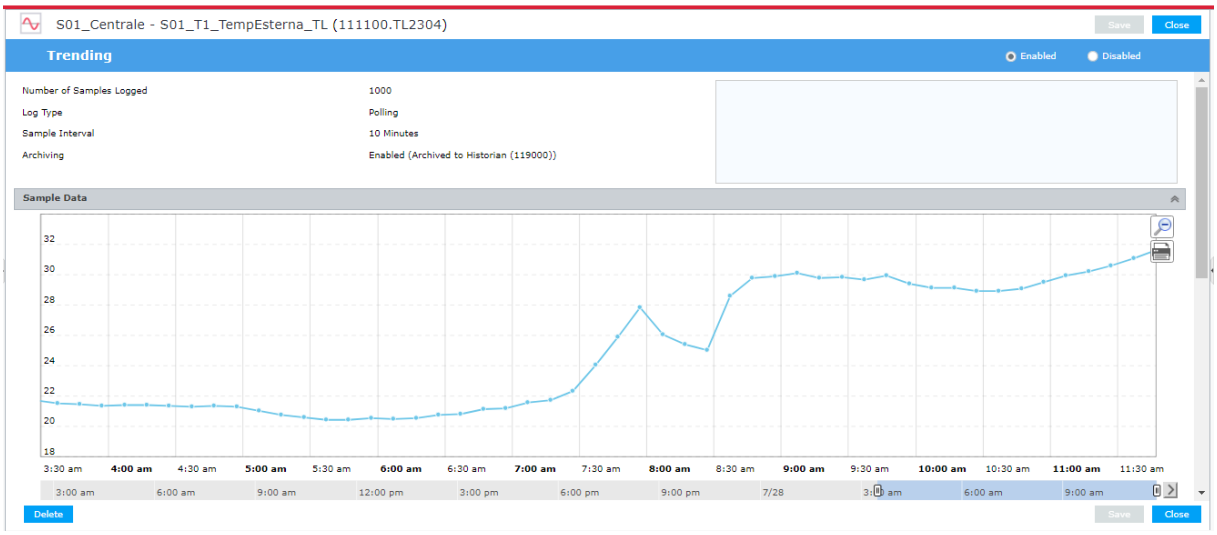


Figura 4.6. Esempio di TL object page della temperatura esterna misurata dalla sonda a servizio della sottocentrale S01. Screenshot effettuato della TL object page.

Dalla stessa pagina è inoltre possibile scaricare i campioni registrati ottenendo un file in formato CSV. Per poter effettuare lo scaricamento è necessario specificare le date di inizio e fine del periodo di interesse. I dati restituiti saranno compresi fra il primo valore disponibile del giorno immesso come *Start-date* e il primo valore disponibile del giorno successivo a quello immesso come *end-date*.

4.3. Esempio applicativo, il calcolo della temperatura esterna medio mensile

Si è ricorso ai *Trend log object* per lo scaricamento dei valori di temperatura esterna rilevati dalle sette sonde installate nel sito a partire dal 15/10/2015 fino ad arrivare al 15/04/2017.

I dati di temperatura esterna sono necessari al fine di:

- Ricavare i reali valori medi mensili di temperatura esterna media

giornaliera. Secondo il metodo di calcolo quasi stazionario definito dalla UNI/TS 11300-1, tali valori saranno utilizzati nei calcoli necessari a determinare il fabbisogno mensile di energia termica per riscaldamento.

- Determinare i valori di temperatura medio giornaliera da utilizzare nel calcolo dei gradi giorno.

Identificato il TL contenete i dati registrati da ogni sonda sono stati esportati i file CSV contenenti i valori compresi nell'intervallo temporale sopra specificato.

Il file CSV può essere facilmente convertito in una cartella di lavoro Excel (.xlsx) ottenendo così un'unica colonna in cui in ogni cella è presente un numero progressivo che identifica il numero del campione (al primo campione è assegnato il numero 1), il *Time-step* di riferimento nel formato gg/mm/aaaa hh:mm e il corrispondente campione misurato.

Per la temperatura esterna viene rilevato un valore ogni 10 minuti. Attraverso la funzione "Testo in colonne" di Excel è possibile suddividere quest'unica stringa numerica in tre celle contenenti i tre diversi valori sopra riportati. Dopo aver riunito i dati rilevati in un unico file, sono stati calcolati i valori medi giornalieri della Te mediante alcuni semplici passaggi:

- Somma di tutti i valori di Te per cui il giorno contenuto nella colona "*Time-step*" non cambia,
- Conta dei valori misurati in ogni giornata;
- Quoziente fra la somma dei valori di Te e conta dei campioni rilevati nella stessa giornata.

Diversamente da quanto ci si aspetterebbe si è notata una notevole discrepanza tra i valori rilevati dalle sette sonde. Su 548 giorni per cui si sono calcolati i sette valori di temperatura media giornaliera, in 97 si sono rilevati scostamenti tra il valore massimo e quello minimo di più di 2,5°C. Per 9 giorni tale scostamento ammonta addirittura a 4°C. Per approfondire l'argomento si è calcolata la mediana e la media dei sette valori per ogni giornata. Si è tenuto conto della mediana in quanto non è influenzata da possibili errori di misura dovuti ad una singola sonda. Nei grafici sottostanti sono rappresentati gli andamenti delle temperature medie giornaliere calcolati con i valori registrati dalle sette sonde, la media e la mediana delle sette temperature, in due settimane del periodo estivo (Figura 4.7.) e in due settimane del periodo invernale (Figura 4.8.). Come si nota, nei giorni in cui viene registrato un maggior divario fra le temperature, per esempio nei giorni 1, 2, 4, 6, 7, 8 luglio 2016 e 2, 3, 14 gennaio 2017, una

singola sonda misura valori che sono notevolmente superiori o inferiori ai valori registrati dalle restanti. In entrambi i casi in questione la sonda incriminata è quella che fa capo alla sottocentrale S07.

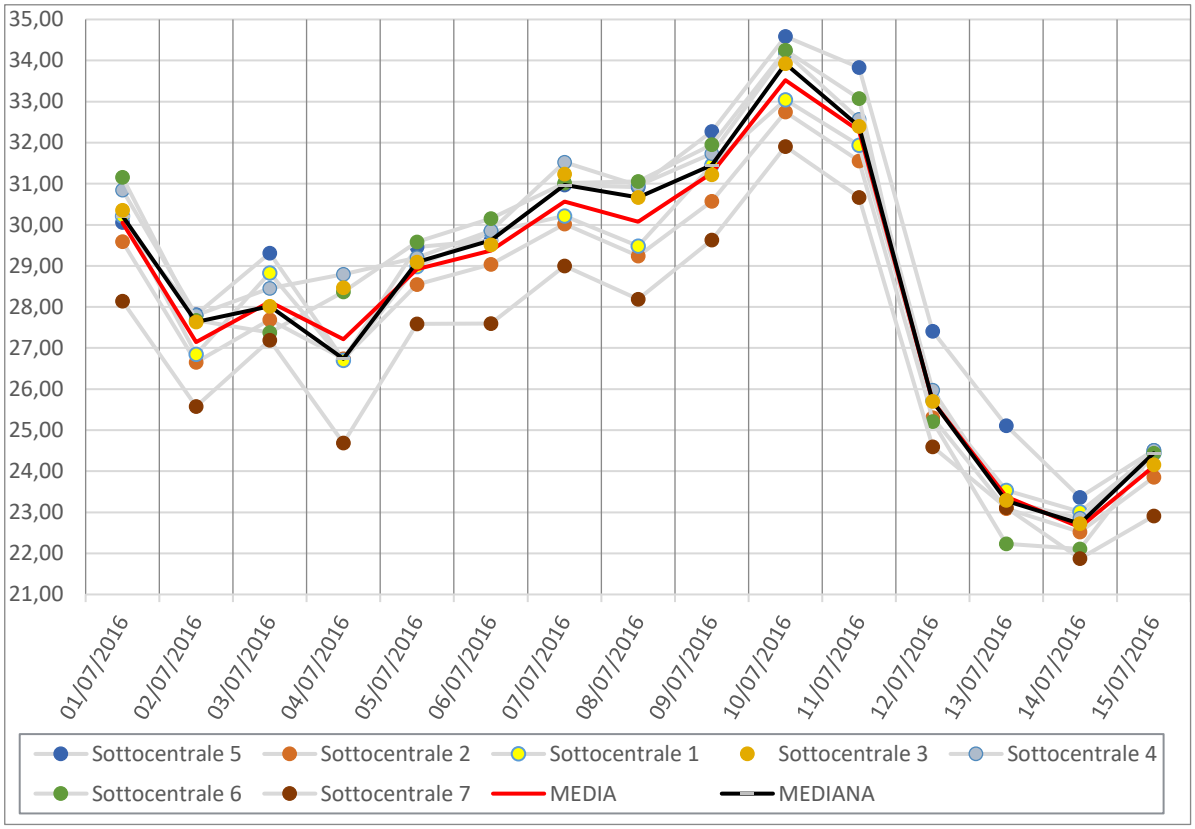


Figura 4.7. Valori di Te medi giornalieri calcolati a partire dati registrati dalle 7 sonde.

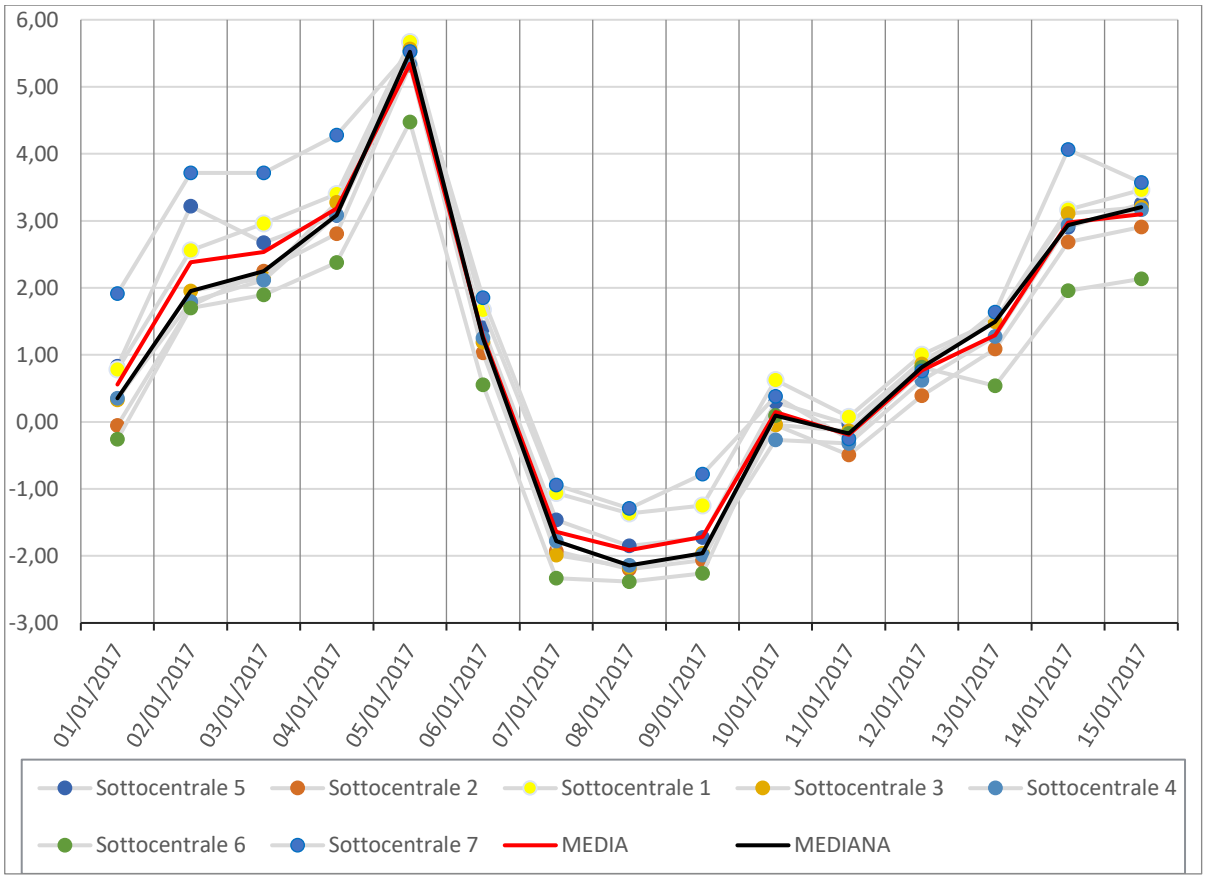


Figura 4.8. Valori di Te medi giornalieri calcolati con i dati registrati dalle 7 sonde.

Per gli 86 giorni sul totale di 97 in cui si è verificato uno scostamento di 2.5°C tra il massimo valore di Te medio giornaliero e il minimo, ad una singola sonda sono riferiti valori giornalieri che differiscono dalla mediana per più di 1,7 °C. Lo scostamento è spesso dovuto ai valori registrati da una singola sonda, non sempre la stessa, che risultano essere notevolmente superiori o inferiori rispetto a quelli registrati dalle restanti sei. In particolare, nel 70% dei casi, questi valori anomali coincidono con il minimo fra le sette Te medie giornaliere calcolate per la stessa giornata, ovvero sono valori inferiori di più di 1,7 °C alla mediana delle temperature. In tutti i casi questi valori risultano essere stati calcolati a partire dai dati registrati dalla sonda appartenente alla sottocentrale S07. Di seguito è riportata una tabella riepilogativa dei valori registrati di Te medi giornalieri calcolati.

Totale valori Te media giornaliera	Totale valori di temperature massimi che discostano per più di 1,7 °C dalla mediana	Totale valori di temperature minimi che discostano per più di 1,7 °C dalla mediana	Totale valori di temperature minimi che discostano per più di 2.5 °C dai valori massimi	Totale valori di temperature massimi che discostano per più di 1,7 °C dalla media	Totale valori di temperature minimi che discostano per più di 1,7 °C dalla media
518	31	67	97	23	47

Tabella 4.4. Riepilogo del numero di valori di Te medio giornaliero che discostano maggiormente dalla media.

SONDA riferita alla sottocentrale:	% valori massimi registrati	% valori minimi registrati	% valori massini che discostano più di 1,72°C dalla mediana	% valori minimi che discostano più di 1,7°C dalla mediana	% valori massini che discostano più di 1,7°C dalla media	% valori minimi che discostano più di 1,7°C dalla media
S01	25%	0%	0%	0%	0%	0%
S02	0%	14%	0%	0%	0%	0%
S03	10%	0%	0%	0%	0%	0%
S04	12%	3%	19%	0%	9%	0%
S05	24%	7%	55%	0%	83%	0%
S06	5%	42%	0%	0%	0%	0%
S07	24%	35%	26%	100%	9%	100%

Tabella 4.5. Riepilogo caratteristiche valori Te medio giornaliero calcolati.

Interessante è il fatto che questi valori anomali sono concentrati nei giorni che vanno dal 21 giugno al 12 settembre. A tale intervallo temporale, in cui si contano 82 giornate, appartengono infatti 72 date in cui si è registrato uno scostamento tra valore massimo e valore minimo di Te medio giornaliero superiore a 2.5 °C e fra quest'ultime nella maggior parte dei casi (46 date) si è verificata anche una differenza tra valore minimo e mediana superiore a 1,7°C.

I valori di temperatura massimi e minimi che si discostano per più di 1,7°C dalla media risultano essere inferiori rispetto a quelli calcolati facendo riferimento alla mediana, in quanto, come già detto, la funzione media è influenzata da tutti i termini considerati.

Per poter analizzare le possibili cause del problema è necessario specificare che le sonde installate appartengono alla famiglia dei termoresistori e basano il loro funzionamento sulla

dipendenza delle proprietà resistive dalla temperatura. In un materiale conduttore un aumento di temperatura provoca un aumento di agitazione termica degli atomi che ostacola il movimento degli elettroni di conduzione. Inoltre la temperatura influenza le dimensioni geometriche del materiale in esame, provocando un'ulteriore non trascurabile variazione di resistenza. Al variare della resistenza rispetto a valori per cui sono note le due variabili in gioco si riesce a risalire al valore della temperatura dell'aria a contatto con la sonda. Le sonde sono state installate su muri o balaustre ed esposte a nord. Se si escludono errori di misura legati all'apparecchiatura, la cui determinazione comporta analisi più accurate degli strumenti, le possibili fonti di influenza sono:

- Un aumento della temperatura registrata a causa dell'irraggiamento riflesso dalla copertura che investe la parete e la stessa sonda;
- L'aumento di temperatura delle balaustre su cui sono state installate le sonde a causa della componente dell'irraggiamento assorbito sulla facciata opposta della parete;
- Nei casi in cui le sonde siano state installate su copertura in cui siano presenti anche UTA, l'influenza delle stesse macchine sulla temperatura dell'aria: innalzamento della temperatura in estete (dissipazione di calore delle pompe di calore aria-aria) e diminuzione in inverno (assorbimento di calore dall'aria esterna delle pompe di calore aria-aria).

Si è escluso un raffreddamento entalpico degli stessi sensori di rilevazione a causa dell'evaporazione di acqua o umidità che potrebbe depositarsi su di essi in quanto le sonde sono protette da un apposito rivestimento in plastica bianca forata.

Dato che la maggior parte dei giorni in cui sono stati registrati gli scostamenti più accentuati tra i valori di Te medio giornaliero appartengono al periodo estivo, è ancor più plausibile supporre un'influenza dell'irraggiamento sui dati registrati.

Per approfondire l'analisi si è deciso di confrontare i valori calcolati con i dati forniti da una vicina stazione meteorologica. Si è quindi calcolata la differenza tra i valori scaricati dalla stazione meteorologica riferiti al periodo che va dal 01/01/2016 al 15/04/2017 e rispettivamente la media, la mediana e il minimo dei valori di Te medio giornalieri calcolati con i dati delle sette sonde. Un riepilogo dei risultati è riportato nella Tabella 4.6.

VALORI DI CONFRONTO	CASO	Percentuale accadimento	Media delle differenze tra i valori maggiori e valori minori	Media pesata dei due casi.
Confronto tra Valori Forniti Dalla Stazione e il MINIMO dei valori calcolati con i dati delle sonde.	Valore fornito dalla stazione è MAGGIORE	62%	0,77	0,97
	Valore fornito dalla stazione è MINORE	38%	1,29	
Confronto tra Valori Forniti Dalla Stazione e la MEDIA dei valori calcolati coni dati delle sonde.	Valore fornito dalla stazione è MAGGIORE	36%	0,41	1.24
	Valore fornito dalla stazione è MINORE	64%	1,71	
Confronto tra Valori Forniti Dalla Stazione e la MEDIANA dei valori calcolati coni dati delle sonde	Valore fornito dalla stazione è MAGGIORE	35%	0,44	1.29
	Valore fornito dalla stazione è MINORE	65%	1,74	

Tabella 4.6. Confronto valori di Te medio giornalieri calcolati con i dati forniti dalle sette sonde presenti nel sito e i valori di Te medio giornaliero forniti da una vicina stazione metereologica.

Come visibile nel 65% dei casi i valori forniti dalla stazione metereologica sono inferiori di 1.71 °C rispetto sia alla media che alla mediana dei sette valori di Te giornalieri. Mentre nel 62% dei casi il valore fornito dalla stazione è superiore di solo 0.77°C al minimo dei valori calcolati con i dati misurati nel sito.

La media pesata è stata calcolata come sommatoria del prodotto dei valori contenuti nella colonna Percentuali di accadimento per i relativi valori contenuti nella penultima colonna della Tabella 4.6. Il risultato evidenzia una miglior concordanza tra i valori di minimo e i valori forniti dalla stazione metereologica. Per tale motivo si è scelto di ritenere più corretta la Te medio giornaliera ottenuta come media dei valori inferiori alla mediana dei sette valori calcolati a partire dai dati rilevati dalle diverse sonde (escludendo i valori medio giornalieri anomali rilevati alla sonda riferita alla S07). Questi sono poi stati utilizzati per il calcolo dei valori medio mensile della temperatura medio giornaliera dell'aria esterna riportata nella Tabella 4.7.

MESE	θe medio mensile calcolata	θe medio mensile fornita da UNI 10349:1994	Frazione di mese	θe medio mensile calcolata per frazione di mese
ott-15	-	14,00	**15/10-31/10**	12,06
nov-15	9,14	7,90		
dic-15	5,32	3,10		
gen-16	4,16	1,70		
feb-16	7,19	4,20		
mar-16	10,47	9,20		
apr-16	16,65	14,00	**1/04-15/04**	16,94
mag-16	19,14	17,90		
giu-16	24,80	22,50		
lug-16	28,40	25,10		
ago-16	26,60	24,10		
set-16	23,51	20,40		
ott-16	13,57	14,00	**15/10-31/10**	13,02
nov-16	8,58	7,90		
dic-16	3,93	3,10		
gen-17	1,72	1,70		
feb-17	6,77	4,20		
mar-17	12,96	9,20		
apr-17	16,36	14,00	**1/04-15/04**	17,91

Tabella 4.7. Confronto tra i valori medio mensile della temperatura medio giornaliera dell'aria esterna calcolati e forniti dalla norma UNI 10349:1994. .

La θe relativa alle frazioni di mese è stata calcolata al fine della quantificazione del fabbisogno energetico in periodo invernale. Il periodo di riscaldamento per il complesso di edifici va dal 15 ottobre al 15 aprile e nel calcolo del fabbisogno energetico medio mensile è necessario considerare dati climatici di riferimento per ogni intervallo di tempo considerato. Per questo motivo sono state calcolate le temperature esterne relative alle sole frazioni estreme dei mesi della stagione di riscaldamento, le quali possono discostarsi notevolmente (vedere aprile 2017) dalle Te di riferimento per l'intero mese.

I valori medio mensili di temperatura sono messi a confronto nella Tabella 4.7 con i dati forniti dalla prima versione della norma UNI 10349-1 sui dati. Nel solo mese di ottobre 2016 la temperatura calcolata risulta inferiore al valore riportato nella norma.

5. Il Risultato del Monitoraggio.

Con il presente capitolo si andrà ad approfondire l'analisi dei consumi di energia termica per il riscaldamento e di acqua sanitaria rilevati nelle unità immobiliari. Il periodo di analisi considerato coincide con la stagione di riscaldamento definita dall'Allegato E al punto E.4.2 del DGR VIII/5018. Tale lasso temporale coincide con il periodo di riscaldamento individuato dalla UNI/TS 11300-1 (l'attuale norma tecnica di riferimento per il calcolo del fabbisogno di energia termica) ed è compreso, per la zona climatica E, tra il 15 novembre e 15 aprile. Le stagioni di riscaldamento considerate sono due: la prima appartenente agli anni 2015/2016, la seconda agni anni 2016/2017.

Nel periodo invernale si contabilizza il fluido termovettore per il riscaldamento e l'acqua sanitaria. I dati primari su cui sarà focalizzata l'attenzione sono quindi:

- kWh di energia termica per il riscaldamento (ETh);
- m^3 di acqua calda sanitaria (ACS);
- m^3 di acqua fredda sanitaria (AFS).

Poiché i dati relativi ad unità immobiliari destinate a funzioni diverse dal residenziale sono disponibili a partire dall'inizio 2017, sarà posta attenzione sui soli appartamenti. In particolare si considereranno solo gli appartamenti che risultano occupati dalle informazioni caricate nella piattaforma del sistema di gestione e monitoraggio. Gli alloggi sono considerati occupati se:

- La data di inizio occupazione è precedente all' inizio del periodo di analisi;
- Risultano essere abitati per almeno l'80% della stagione di riscaldamento.

I giorni di analisi sono pari a 184 nella stagione 2015/2016 (2016 anno bisestile) e 183 nella stagione 2016/2017.

Per accelerare lo scaricamento dei dati e facilitarne l'elaborazione si è scelto di utilizzare il foglio Excel, creato a modello della sezione Ripartizioni visibile sull'applicazione *web-based* del BEMS, menzionato nel capitolo 4. I dati di interesse sono quelli contenuti dal foglio denominato "Termico-Acqua", in cui ogni unità immobiliare è contenuta in una determinata riga e per ognuna di esse sono disponibili le informazioni cercate.

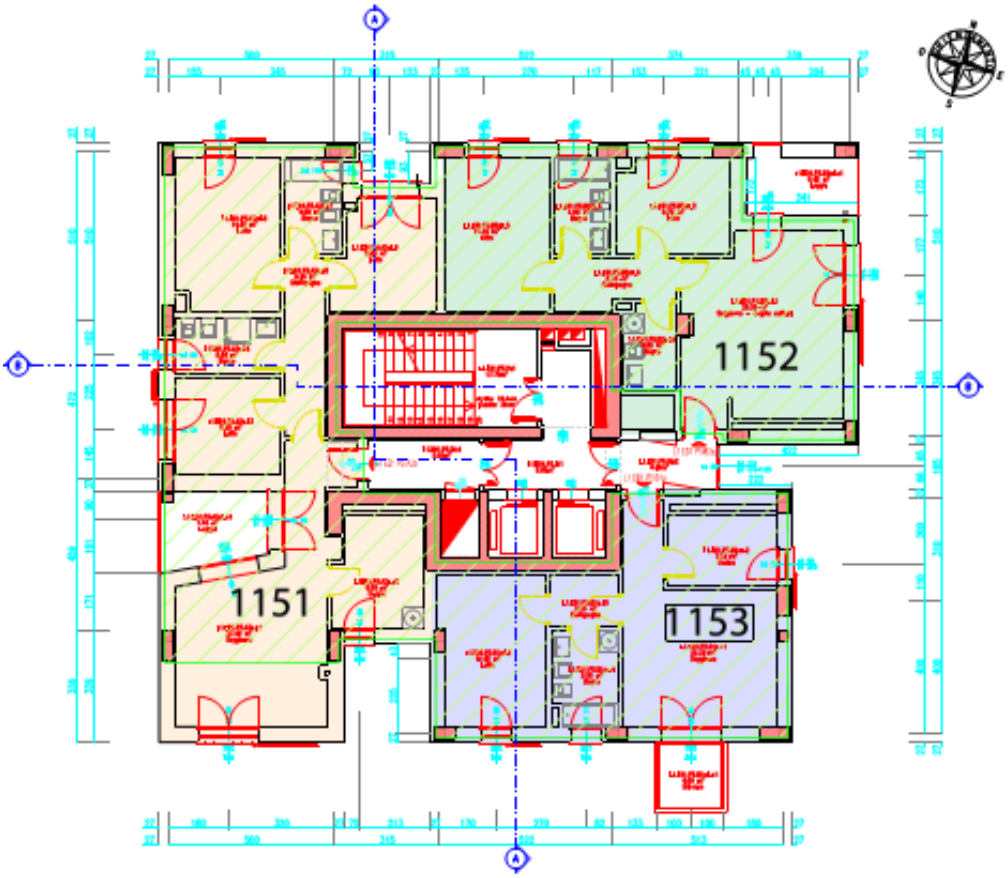
Prima di iniziare l'elaborazione dei dati è stata fatta un'analisi delle caratteristiche egli appartamenti. Come già riportato tutti gli appartamenti sono stati progetti a partire da tre diversi

moduli base. Si è quindi cercato di identificare tutti gli alloggi aventi in comune quattro importanti fattori di influenza sui consumi. Dato che le stratigrafie dei vari componenti dell'involucro degli edifici sono uguali, se si considerano gli apporti interni direttamente proporzionali alla superficie utile dell'appartamento, a parità di altre condizioni al contorno, le principali variabili in gioco da cui dipende l'ammontare del consumo di energia termica sono:

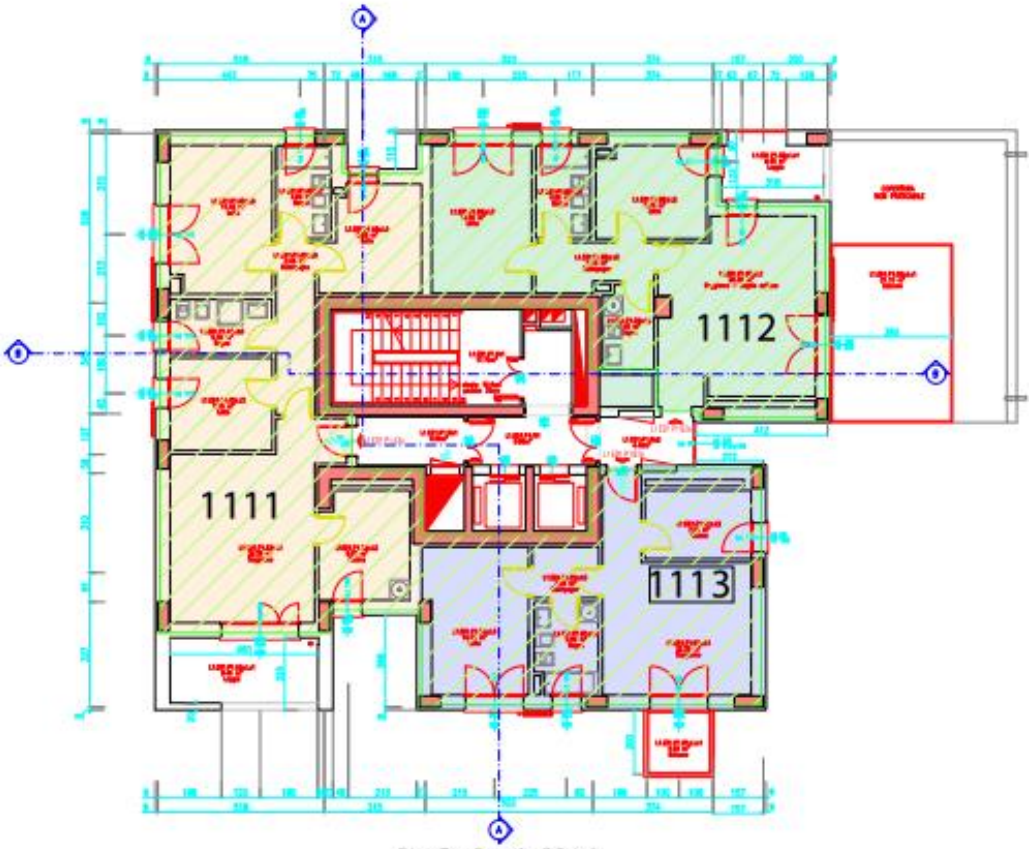
- Rapporto di forma S/V [m^{-1}];
- Superficie utile dell'unità [m^2];
- Esposizione delle pareti;
- Area delle superfici vetrate [m^2];

Sul totale di 323 appartamenti sono state individuate in questo modo state 118 tipologie immobiliari comprendenti da 1 fino a 12 alloggi. Ogni tipologia è identificata da una sigla composta da una lettera che varia dalla A alla G e un numero. Dato che i vari edifici sono composti da piani con la medesima disposizione di appartamenti interni, in genere, appartengono alla stessa categoria tutti gli alloggi sovrapposti all'interno dello stesso edificio. Gli alloggi all'interno di una determinata tipologia sono quindi comparabili per il loro fabbisogno di energia necessaria alla climatizzazione.

A titolo esemplificativo sono di seguito riportate tre piante di diversi piani appartenenti all'edificio avente numero civico 6A. Le unità immobiliari campite con lo stesso colore sono considerate appartenenti alla stessa categoria. Il codice identificativo delle unità immobiliari è riquadrato nel caso in cui esse risultino occupate. In verde sono campiti gli alloggi appartenenti alla tipologia "A2", in blu quelli appartenenti alla tipologia "A3", in rosa gli alloggi appartenenti alla tipologia "A1".



PIANTA PIANO QUINTO



PIANTA PIANO PRIMO

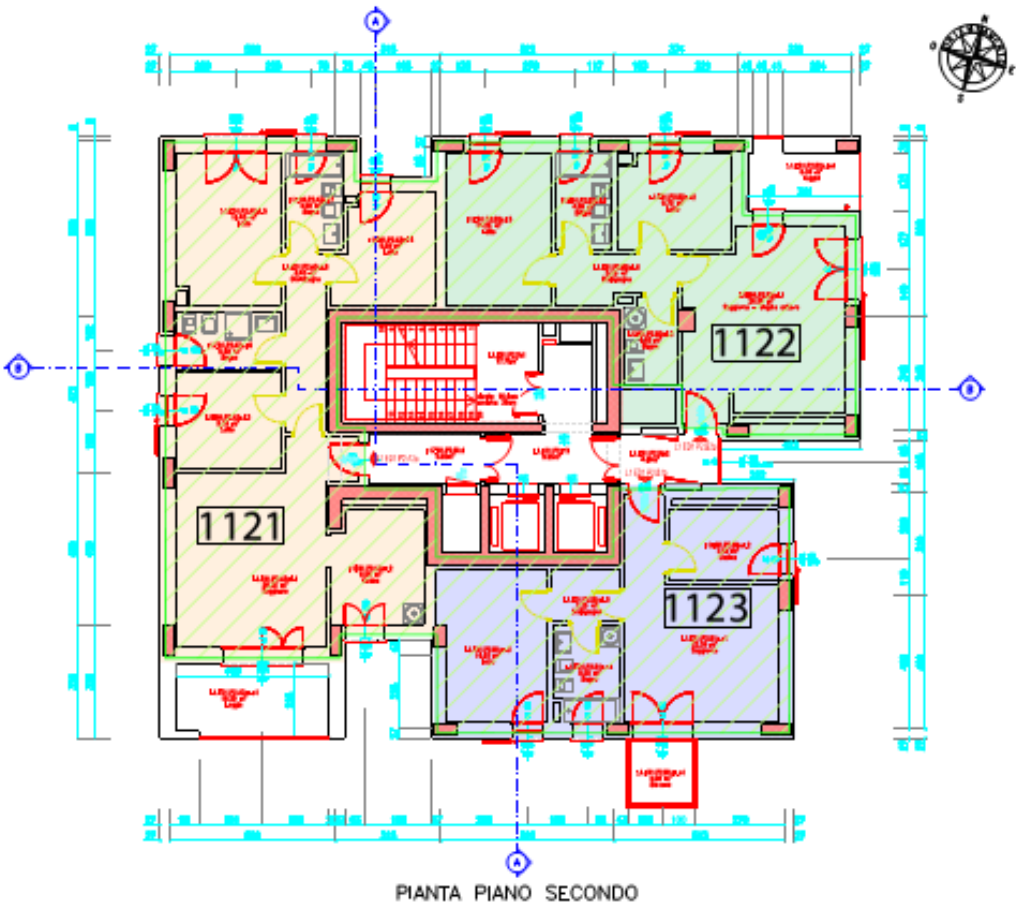


Figura 5.1. Piante edificio con specificazione del numero identificativo e della categoria di appartenenza.

I dati scaricati sono elaborati attraverso una serie di normalizzazioni atte a facilitarne la loro comparazione e il confronto con diversi valori di riferimento, fra i quali i consumi previsti in fase di progettazione riportati nella relazione energetica.

Ai fini dell'analisi del consumo di energia termica per il riscaldamento sono considerate le seguenti grandezze:

- La superfice utile di ogni alloggio [m^2];
- I gradi giorno convenzionali (GG_{2404}) introdotti dalla legislazione italiana ai fini della definizione delle zone climatiche. Si intende "per "gradi-giorno convenzionali" di una località, la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado-giorno (GG)."[29] Per

[29] Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, Articolo 1.

la zona di riferimento i gradi giorno convenzionali sono pari a 2404 (come specificato nella relazione tecnica e riportato nel capitolo 3 del presente trattato).

- I gradi giorno reali ($GG_{20°C}$) per la località di riferimento, uguali per tutti gli alloggi ma diversi per ogni stagione di riscaldamento considerata. I $GG_{20°C}$ sono pari a 2120 GG per la stagione 2015/2016 e 2127 GG per la stagione 2016/2017. Sono calcolati come somma, nel periodo di riscaldamento, delle differenze positive giornaliere tra la temperatura interna Ti, considerata convenzionalmente pari a 20°C, e la reale temperatura esterna, misurata dalle sonde nel sito come riportato nel capitolo 4.
- I gradi giorno effettivi per ogni unità immobiliare (GG). Questi gradi giorno differiscono per ogni unità immobiliare analizzata e per ogni stagione di riscaldamento considerata al variare della temperatura mantenuta all'interno di ogni locale e della temperatura reale esterna. Sono calcolati come sommatoria, per l'intera stagione di riscaldamento, delle sole differenze positive tra l'effettiva temperatura media giornaliera dell'aria all'interno dell'alloggio (registrata dal BEMS), e la reale temperatura dell'aria esterna medio giornaliera.

Grazie a queste grandezze è possibile effettuare tre livelli di normalizzazione. Dividendo l'ammontare totale del consumo effettuato in ogni unità immobiliare per la rispettiva superficie utile si ricava il valore di ETh in kWh/m^2. Questo valore è indipendente dalla grandezza degli appartamenti e permette un primo confronto fra i consumi registrati per le varie unità immobiliari. Al fine di un'analisi energetica approfondita questo valore necessita ancora di alcune correzioni.

Dividendo il valore di ETh sopra riportato per i gradi giorno effettivi di ogni alloggio e rimoltiplicandolo per i gradi giorno reali di ogni stagione, si ottiene un valore di consumo normalizzato rispetto la temperatura interna T_i. Il valore così ottenuto è pari all'ammontare del consumo che si sarebbe dovuto registrare se ogni unità immobiliare fosse riscaldata nell'intera stagione ad una temperatura pari a 20°C. Si ottiene un consumo superiore al reale misurato per tutti gli alloggi in cui si è mantenuta una temperatura interna media stagionale inferiore di 20°C. Al contrario, inferiore, nei casi in cui la temperatura interna media stagionale registrata è

superiore a 20°C. Il consumo così normalizzato dovrebbe essere, a meno di uno scarto ragionevole, uguale nella stessa stagione di riscaldamento per tutti gli alloggi appartenenti ad una determinata categoria (si intende per categoria quanto definito ad inizio capitolo). La differenza, calcolata per ogni alloggio, tra quest'ultimo valore (denominato ETh*(20°C)) e il reale consumo di energia termica (ETh) rappresenta l'ammontare del consumo risparmiato (nel caso di differenza negativa) o dissipato (nel caso di differenza positiva) per via della regolazione della temperatura interna.

La seconda normalizzazione è ottenuta dividendo i valori di ETh di ogni unità immobiliare per i gradi giorni effettivi di riferimento e rimoltiplicandolo per i GG convenzionali. Si ottiene così un valore di consumo confrontabili fra le diverse stagioni analizzate. Quest'ultima normalizzazione permette inoltre il confronto con il fabbisogno, calcolato secondo le indicazioni fornite dalle norme, di energia termica per il riscaldamento. Si ottiene infatti un valore di consumo normalizzato sia rispetto la temperatura interna che rispetto a quella esterna.

Il confronto con il valore di progetto è, come già detto, molto importante e permette di stabilire se effettivamente l'edificio "si comporta" come previsto, ovvero se l'ammontare del consumo registrato rispetta i valori dichiarati in fase progettuale.

Si ricorda che le principali assunzioni effettuate sia dal modello di calcolo riportato dal DGR 8/5018 che dalla norma UNI 11300-1 sono:

- I dati climatici assunti per la sua determinazione sono valori medi mensili ricavati da un archivio almeno decennale di dati rilevati. Questi non consentono di determinare in modo dettagliato il comportamento dinamico del sistema edificio impianto e, per questo motivo, tale procedura è definita "quasi stazionaria".
- Si ipotizza di mantenere per 24h la temperatura dell'aria interna pari a 20°C in periodo di riscaldamento e 26°C in periodo di raffrescamento;
- Gli apporti di energia interna, dovuti ad apparecchiature elettroniche e al metabolismo delle persone, sono calcolati in modo parametrico in funzione della superficie. Non si tiene conto né dell'effettivo indice di affollamento né dei profili di occupazione.
- Il calcolo del fabbisogno di energia termica è riferito alla stagione convenzionale di riscaldamento che, per la zona climatica E, è compreso tra il 15 ottobre e il 15 aprile.

Nell'analisi dei consumi di acqua calda e fredda sono invece analizzate le seguenti grandezze:

- Il numero di giorni della stagione analizzata;
- Il numero di abitanti di ogni unità immobiliare.

Dividendo l'ammontare del volume di ACS o AFS consumato per i dati sopra riportati, si ottiene un valore di consumo confrontabile fra tutti gli appartamenti nel tempo. Al fine di approfondire l'analisi dei consumi d'acqua, è stata definita una nuova classificazione delle unità immobiliari basata sul numero di occupanti. Sono così state così trovate 5 categorie, al cui numero identificativo corrisponde il numero di occupanti degli alloggi appartenenti alla classe.

Il benchmark di riferimento nell'analisi dei consumi d'acqua è calcolato secondo le indicazioni fornite dalla norma tecnica UNI 11300-2 al paragrafo 7.

5.1. Consumi di Energia Termica per il Riscaldamento

Nella Tabella 5.1 soro riportati i dati di consumo di energia termica spesa il per riscaldamento in ogni alloggio occupato in ognuna delle due stagioni considerate. Nelle tabelle sono riportati i dati scaricati e non modificati su cui è stata fatta una analisi preliminare, al fine di identificare anomalie che possono compromettere i successivi calcoli. Come detto si sono considerati unicamente gli alloggi occupati per almeno l'80% del periodo di analisi. Trattandosi di alloggi di recente costruzione si può vedere nell'ultima stagione di riscaldamento un notevole incremento degli alloggi risultanti occupati, 169 contro 130 contati nella stagione 2015/2016.

Da sinistra a destra sono riportate le seguenti informazioni:

- Numero identificativo (N.I.) dell'alloggio;
- Condominio di appartenenza;
- Numero civico dell'unità immobiliare;
- La superficie utile dell'alloggio occupato, espressa in m^2;
- Data di inizio occupazione;
- Giorni di in cui ogni unità immobiliare considerata risulta occupata in ciascuna delle due stagioni;
- Consumo di energia termica ETh espresso in kWh;
- La percentuale di incremento o decremento dei consumi di energia termica reali di ogni alloggio ETh tra la stagione 2015/2016 e la stagione 2016/2017. Un valore negativo, riportato nella tabella

sottostante in colore verde, è correlato ad un decremento dei consumi nell'ultima stagione.

						Stagione 2016/2017		Stagione 2015/2016		
Alloggio	Condomino		Superficie	Inizio Occ.		gg. di occupazione [gg]	ETh	gg. di occupazione [gg]	ETh	Variazione % dei consumi fra le stagioni 2015/2016 e 2016/2017
N.I.			[m^2]				[kWh]		[kWh]	[%]
1113	A		52,55	21/05/2015		183	**4460**	184	**4460**	0,00%
1121	A		86	07/07/2015		183	**5992**	184	**7487**	-19,97%
1122	A		64,45	01/05/2016		183	**3242**	0		
1123	A		52,55	05/05/2015		183	**1928**	184	**1760**	9,55%
1131	A		86	01/02/2016		183	**5558**	0		
1132	A		64,45	11/05/2015		183	**4838**	184	**5326**	-9,16%
1133	A		52,55	04/05/2015		183	**1393**	184	**2399**	-41,93%
1142	A		64,45	01/11/2016		166	**4362**	0		
1143	A		52,55	04/05/2015		183	**1735**	184	**2649**	-34,50%
1153	A		52,55	08/04/2015		183	**2622**	184	**2058**	27,41%
1163	A		52,55	04/05/2015		183	**3600**	184	**3934**	-8,49%
1173	A		52,55	07/05/2015		183	**1789**	184	**1864**	-4,02%
1183	A		52,55	20/05/2015		183	**2097**	184	**2283**	-8,15%
1193	A		52,55	14/05/2015		183	**1825**	184	**1647**	10,81%
11103	A		52,55	29/05/2015		183	**2673**	184	**2075**	28,82%
11121	A		85,95	19/11/2015		183	**6464**	149	**5826**	10,95%
1231A	A		66,65	28/05/2015		183	**3144**	184	**2929**	7,34%
1241A	A		66,65	15/01/2016		183	**4778**	0		
1242A	A		98,2	01/05/2015		183	**8084**	184	**392**	1962,24%
1211B	A		66,6	30/10/2015		183	**3322**	169	**4245**	-21,74%
1212B	A		66,7	24/07/2015		183	**5678**	184	**5257**	8,01%
1221B	A		66,6	18/05/2015		183	**1954**	184	**2472**	-20,95%
1222B	A		66,7	27/07/2015		183	**1828**	184	**2612**	-30,02%
1211C	A		99	01/06/2016		183	**7355**	0		
1212C	A		78,7	19/06/2015		183	**5113**	184	**7040**	-27,37%
1213C	A		55,4	21/05/2015		183	**2010**	184	**2786**	-27,85%
1223C	A		55,4	13/05/2015		183	**1068**	184	**1622**	-34,16%
1233C	A		55,4	07/05/2015		183	**2474**	184	**3026**	-18,24%
1411A	A		82,54	01/05/2016		183	**4477**	0		

1412A	A		63,3	06/05/2015		183	**4779**	184	**4912**	-2,71%
1413A	A		28,94	26/05/2015		183	**3057**	184	**3054**	0,10%
1414A	A		74,71	07/05/2015		183	**4392**	184	**6330**	-30,62%
1422A	A		64,31	22/06/2015		183	**3715**	184	**3441**	7,96%
1423A	A		28,94	08/05/2015		183	**580**	184	**1139**	-49,08%
1424A	A		85,72	15/09/2016		183	**1746**	0		
1431A	A		80,79	01/08/2016		183	**3331**	0		
1433A	A		28,94	30/07/2015		183	**2423**	184	**1523**	59,09%
1434A	A		81,02	15/09/2016		183	**3932**	0		
1441A	A		80,8	14/07/2015		183	**4754**	184	**6206**	-23,40%
1442A	A		63,3	12/06/2015		183	**5060**	184	**4079**	24,05%
1443A	A		28,94	12/05/2015		183	**1550**	184	**1676**	-7,52%
1444A	A		74,71					184	**4948**	
1411B	A		83,7	01/12/2015		183	**5200**	0		
1412B	A		55,22	05/05/2015		183	**2755**	184	**2964**	-7,05%
1413B	A		31,71	08/05/2015		183	**2596**	184	**3421**	-24,12%
1422B	A		55,22	12/05/2015		183	**3126**	184	**2996**	4,34%
1423B	A		31,71	13/05/2015		183	**696**	184	**625**	11,36%
1432B	A		55,22	12/06/2015		183	**2606**	184	**2762**	-5,65%
1433B	A		31,71	29/05/2015		183	**2420**	184	**2330**	3,86%
2102C	B		80,8	15/09/2016		183	**4778**	0		
2103C	B		83	04/05/2015		183	**8236**	184	**6228**	32,24%
2111C	B		76,45	02/11/2015		183	**4922**	166	**4998**	-1,52%
2122C	B		38,65	12/05/2015		183	**2165**	184	**1475**	46,78%
2131C	B		71,05	01/02/2016		183	**5162**	0		
2132C	B		38,45	13/05/2015		183	**2228**	184	**3465**	-35,70%
2142C	B		38,65	15/04/2015		183	**3192**	184	**285**	1020,00%
2143C	B		75,25	15/09/2016		183	**8361**	0		
2111D	B		70,1	18/06/2015		183	**3202**	184	**3925**	-18,42%
2112D	B		30,7	09/06/2015		183	**1916**	184	**1608**	19,15%
2121D	B		95,7	01/11/2016		166	**2874**	0		
2122D	B		70,4	15/12/2015		183	**3140**	0		
2123D	B		30,5	26/05/2015		183	**548**	184	**247**	121,86%
2131D	B		95,75	26/05/2015		183	**7318**	184	**8148**	-10,19%
2133D	B		30,5	12/06/2015		183	**2214**	184	**2527**	-12,39%
2134D	B		75,15	18/05/2015		183	**6680**	184	**7640**	-12,57%
2202E	B		114,15	30/10/2015		183	**9415**	169	**5053**	86,32%
2221E	B		68,05	15/07/2015		183	**5128**	184	**4944**	3,72%
2222E	B		38,9	15/05/2015		183	**3776**	184	**3713**	1,70%
2232E	B		38,65	04/05/2015		183	**2991**	184	**3243**	-7,77%
2222F	B		38,5	30/04/2015		183	**4576**	184	**4168**	9,79%
2223F	B		65,65	15/05/2015		183	**8033**	184	**8305**	-3,28%
2301A	C		89,35	30/10/2015		183	**6130**	169	**2649**	131,41%
2311A	C		61,6	06/05/2015		183	**2856**	184	**3793**	-24,70%
2312A	C		52,35	16/06/2015		183	**3002**	184	**4004**	-25,02%

2322A	C		52,35	12/05/2015		183	**1313**	184	**881**	49,04%
2323A	C		61,8	11/05/2015		183	**1614**	184	**2683**	-39,84%
2324A	C		63,15	18/05/2015		183	**2766**	184	**2521**	9,72%
2331A	C		96,6	15/06/2016		183	**3087**	0		
2332A	C		52,45	14/09/2015		183	**2981**	184	**2796**	6,62%
2333A	C		61,75	11/05/2015		183	**5969**	184	**4893**	21,99%
2305B	C		87,05	03/06/2015		183	**6105**	184	**5179**	17,88%
2321B	C		66,6	15/06/2016		183	**4007**	0		
2322B	C		38,65	05/05/2015		183	**2072**	184	**1925**	7,64%
2331B	C		71,25	11/05/2015				184	**3112**	
2332B	C		38,5	14/05/2015		183	**3344**	184	**2899**	15,35%
2422G	C		39,1	25/05/2015		183	**4384**	184	**2758**	58,96%
2401H	C		78,35	10/06/2015		183	**5894**	184	**5469**	7,77%
2402H	C		76,65	10/06/2015		183	**4428**	184	**5502**	-19,52%
2422H	C		39,3	22/06/2015		183	**3119**	184	**2299**	35,67%
2432H	C		38,5	21/05/2015		183	**3617**	184	**3534**	2,35%
3111	D		49,372	27/11/2015		183	**3119**	0		
3112	D		49,362	27/11/2015		183	**1429**	0		
3113	D		49,342	27/11/2015		183	**1826**	0		
3114	D		49,352	27/11/2015		183	**1471**	0		
3115	D		49,362	27/11/2015		183	**2817**	0		
3121	D		47,742	27/11/2015		183	**3431**	0		
3122	D		47,932	27/11/2015		183	**2028**	0		
3123	D		47,922	27/11/2015		183	**2680**	0		
3124	D		49,142	27/11/2015		183	**3950**	0		
3125	D		47,612	27/11/2015		183	**1948**	0		
3202A	E		70,88	15/05/2015		183	**6317**	184	**6267**	0,80%
3203A	E		47,93	01/12/2015		183	**3496**	0		
3212A	E		27,64	22/06/2015		183	**2013**	184	**2387**	-15,67%
3221A	E		88,33	08/09/2015		183	**4900**	184	**5310**	-7,72%
3222A	E		74,52	30/11/2015		183	**5056**	0		
3202B	E		80,05	30/10/2015		183	**4489**	169	**4284**	4,79%
3203B	E		46,14	15/01/2016		183	**3214**	0		
3204B	E		97,79	29/10/2015		183	**7542**	170	**8077**	-6,62%
3213B	E		45,59	05/05/2015		183	**753**	184	**20**	
3223B	E		48,56	25/05/2015		183	**4320**	184	**5619**	-23,12%
3224B	E		57,39	15/06/2015		183	**4492**	184	**1103**	307,25%
3202F	E		48,09	20/07/2015		183	**3766**	184	**3121**	20,67%
3205F	E		53,58	30/11/2015		183	**3920**	0		
3213F	E		49,24	20/05/2015		183	**3207**	184	**2847**	12,64%
3221F	E		63,97	15/06/2015		183	**5475**	184	**4222**	29,68%
3223F	E		44,89	08/05/2015		183	**2743**	184	**2288**	19,89%
3232F	E		61,46	14/07/2015		183	**5274**	184	**3604**	46,34%
3233F	E		49,12	12/05/2015		183	**3998**	184	**5116**	-21,85%
3234F	E		51,01	13/07/2015		183	**4932**	184	**4209**	17,18%

4111A	F		73,1	15/03/2016		183	**7654**	0		
4112A	F		48,68	14/05/2015		183	**4109**	184	**3962**	3,71%
4122A	F		48,68	14/07/2015		183	**4875**	184	**4570**	6,67%
4101B	F		100,1	30/04/2015		183	**7790**	184	**8491**	-8,26%
4201A	G		67,62	13/07/2015		183	**6597**	184	**5904**	11,74%
4202A	G		47,04	02/11/2015		183	**4373**	166	**3974**	10,04%
4203A	G		46,37	01/02/2016		183	**4911**	0		
4212A	G		44,33	30/09/2015		183	**3069**	184	**2524**	21,59%
4213A	G		67,05	29/06/2015		183	**3719**	184	**3894**	-4,49%
4214A	G		95,11	05/05/2015		183	**2967**	184	**4749**	-37,52%
4222A	G		44,33	22/05/2015		183	**2279**	184	**2900**	-21,41%
4223A	G		67,05	07/05/2015		183	**4223**	184	**2930**	44,13%
4224A	G		95,11	29/06/2015		183	**3711**	184	**3471**	6,91%
4232A	G		44,33	20/05/2015		183	**2636**	184	**1720**	53,26%
4233A	G		67,05	19/05/2015		183	**1008**	184	**2430**	-58,52%
4234A	G		95,11	14/05/2015		183	**2956**	184	**3574**	-17,29%
4201C	G		48,25	01/10/2015		183	**1888**	184	**2201**	-14,22%
4202C	G		94,91	15/06/2016		183	**0**	0		
4203C	G		50,35	09/09/2015		183	**4393**	184	**4418**	-0,57%
4204C	G		70,05	01/09/2016		183	**1220**	0		
4211C	G		70,07	16/09/2015		183	**3130**	184	**2287**	36,86%
4212C	G		47,79	18/05/2015		183	**0**	184	**1009**	
4214C	G		70,05	13/11/2015		183	**0**	155	**909**	
4221C	G		70,07	19/05/2015		183	**2454**	184	**3900**	-37,08%
4222C	G		47,79	13/05/2015		183	**2681**	184	**2632**	1,86%
4223C	G		44,76	06/05/2015		183	**3124**	184	**3621**	-13,73%
4232C	G		47,79	03/06/2015		183	**3421**	184	**3892**	-12,10%
4233C	G		44,91	19/05/2015		183	**5111**	184	**5519**	-7,39%
4303	G		95,91	09/06/2015		183	**3789**	184	**4174**	-9,22%
4304	G		94,04	09/06/2015		183	**6167**	184	**5618**	9,77%
4306	G		49,66	08/07/2015		183	**5376**	184	**1934**	177,97%
4307	G		46,3	15/05/2015		183	**3368**	184	**3197**	5,35%
4308	G		67,45	15/07/2016		183	**5131**	0		
4309	G		71,57	15/12/2015		183	**5009**	0		
4311	G		95,86	01/12/2015		183	**3246**	0		
4313	G		71,57	29/01/2016		183	**3604**	0		
4321	G		95,75	06/05/2015		183	**5640**	184	**6904**	-18,31%
4403	F		73,76	01/08/2016		183	**7740**	0		
4404	F		94,18	29/01/2016		183	**5225**	0		
4412	F		48,54	22/06/2016		183	**5756**	184	**2992**	92,38%
4422	F		48,54	22/05/2015				184	**4349**	
4501A	F		76,38	17/09/2015		183	**0**	184	**6315**	
4502A	F		53,32	17/09/2015		183	**3921**	184	**2782**	40,94%
4504A	F		46,14	24/06/2015		183	**3482**	184	**4218**	-17,45%
4512A	F		50,95	04/05/2015		183	**3015**	184	**2415**	24,84%
4513A	F		46,3	03/07/2015		183	**2265**	184	**3054**	-25,83%

4514A	F		47,53	15/02/2016		183	**3745**	0		
4515A	F		70,28	15/10/2015		183	**3240**	184	**3169**	2,24%
4522A	F		50,95	04/05/2015		183	**4392**	184	**5043**	-12,91%
4523A	F		46,3	03/07/2015		183	**3781**	184	**3130**	20,80%
4524A	F		47,53	01/07/2015		183	**4293**	184	**4082**	5,17%
4501B	F		92,59	16/11/2015		183	**3455**	152	**3814**	-9,41%
4502B	F		68,87	30/06/2015		183	**4448**	184	**2942**	51,19%

Totale	10562
max	114
min	27
media	61

	631117		469511	
183	9415	184	8491	1962%
166	0	149	20	-59%
183	3734	182	3611	32%

N. alloggi occupati 2015/2016	130
N. alloggi occupati 2016/2017	169

LEGENDA	
	Valore non disponibile
	Valore anomalo
	Variazione anomala di consumo
aaa	Valore negativo

Tabella 5.1. Consumi di energia termica per riscaldamento nelle stagioni 2015/2016 e 2016/2017

Saltano subito all'occhio alcuni valori anomali nei consumi registrati. In particolare per quattro alloggi nella stagione di riscaldamento 2016/2017 (4202C; 4212C, 4214C; 4501A) e per uno nella stagione 2015/2016 (3213B) è stata misurata una quantità nulla o eccessivamente ridotta energia termica.

Si è riscontrato che il problema per gli alloggi con numero identificativo 4202C; 4212C, 4214C risiede negli stessi dispositivi M-BUS con il compito di misurare l'energia termica per riscaldamento e raffrescamento. Come visibile sulla piattaforma per il monitoraggio a tali dispositivi è associato un codice di errore. Approfondendo l'indagine si è scoperto che il problema risiete in un atto di vandalismo che ha danneggiato gli strumenti.

L'alloggio 4501A che risulta occupato da una persona a partire da ottobre 2015 ha anche consumato nel medesimo periodo di tempo una ridotta quantità d'acqua. Dalla sezione Energy della piattaforma di monitoraggio, si è riscontrato che per soli sette giorni su 183 risulta essere stato effettuato un consumo di ACS, per un totale di 500 L. Il consumo di AFS, pari a poco più di 1000 L, è concentrato nei giorni compresi dall'11 al 14 aprile, con un picco di 400 L al 12/04/17. La causa del consumo anomalo di ETh, misurato nell'alloggio 4501A nella stagione di riscaldamento 2016/2017, potrebbe quindi essere la sua non occupazione e conseguente

spegnimento degli impianti.

Più problematico è invece indagare le cause del valore di consumo anomalo per l'alloggio 3213B nella stagione 2015/2016. Sempre grazie alla pagina on-line della piattaforma è stato riscontrato che i 20 kWh risultano essere stati consumati fra le ore 17:00 del 03/10/2016 le ore 7:00 del giorno seguente. Durante la stagione di riscaldamento risulta inoltre essere stato effettuato un consumo di 7.3 m^3 di ACS e 3,3 m^3 di AFS. Diversamente dal caso precedentemente analizzato il consumo di acqua, se pur inferiore alla media, risulta regolare in tutta la stagione. Di seguito sono riportati due grafici estrapolati dal modulo Energy, il primo un istogramma di consumi giornalieri di ACS per il mese di gennaio 2016 e il secondo un istogramma di consumi orari di ACS per il giorno 13/01/2016. Salvo poche eccezioni, è stato rilevato un consumo giornaliero di ACS e la media nel periodo di analisi è di 40,7 L/gg. Inoltre, conformemente a quanto ci si potrebbe aspettare e come riportato nel grafico in Figura 5.3, il consumo è spesso concentrato all'interno della giornata in due fasce orarie: una al mattino intorno alle 7:00 e l'altra alla sera verso le 20:00. Il consumo giornaliero di AFS risulta invece meno regolare ma anch'esso distribuito nell'intera stagione di analisi.

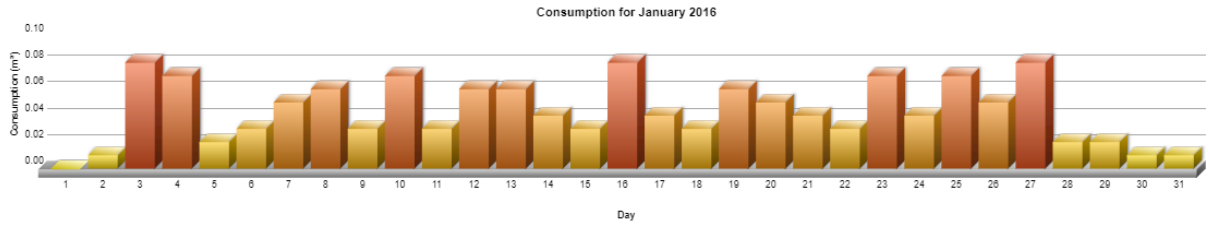


Figura 5.2. Istogramma di consumi giornalieri di ACS per il mese di gennaio 2016 dell'unità immobiliare 3213B.

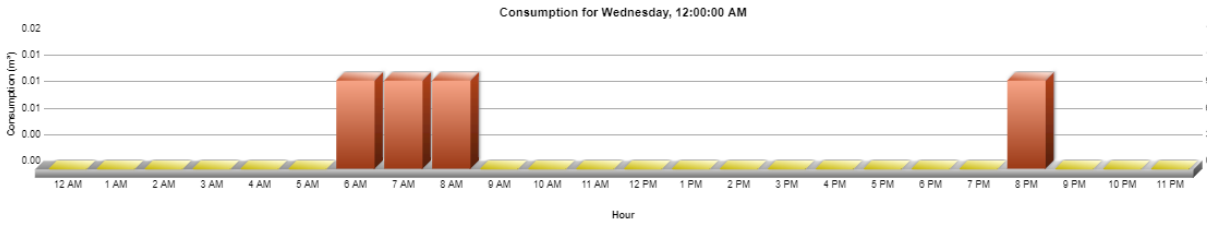


Figura 5.3. Istogramma di consumi orari di ACS per il giorno 13/01/2016 dell'unità immobiliare 3213B.

Al fine di determinare la causa del consumo anomalo di ETh dell'unità immobiliare 3213B si è analizzato anche l'andamento della temperatura interna. Risulta che la media della Ti nel periodo di analisi è di 19,5°C; con una temperatura media giornaliera massimo di 24 °C raggiunto nel mese di ottobre ed una minima di 16,9 °C calcolata nel mese di gennaio. Di seguito è riportato il grafico dell'andamento della temperatura media giornaliera nel periodo di analisi. Si può quindi pensare che l'alloggio sia stato regolarmente abitato nella stagione di

riscaldamento. Le cause del consumo irregolarmente basso di ETh possono essere due. La prima presuppone la lettura e il rilevamento corretto dell'energia termica consumata. In questo caso il riscaldamento dell'alloggio sarebbe da attribuire all'aria surriscaldata dalle UTA ed introdotta in ambiente. La seconda presuppone invece un malfunzionamento del contatore di energia. In quest'ultimo caso risulta strano il fatto che sia stato rilevato un consumo per alcune ore.

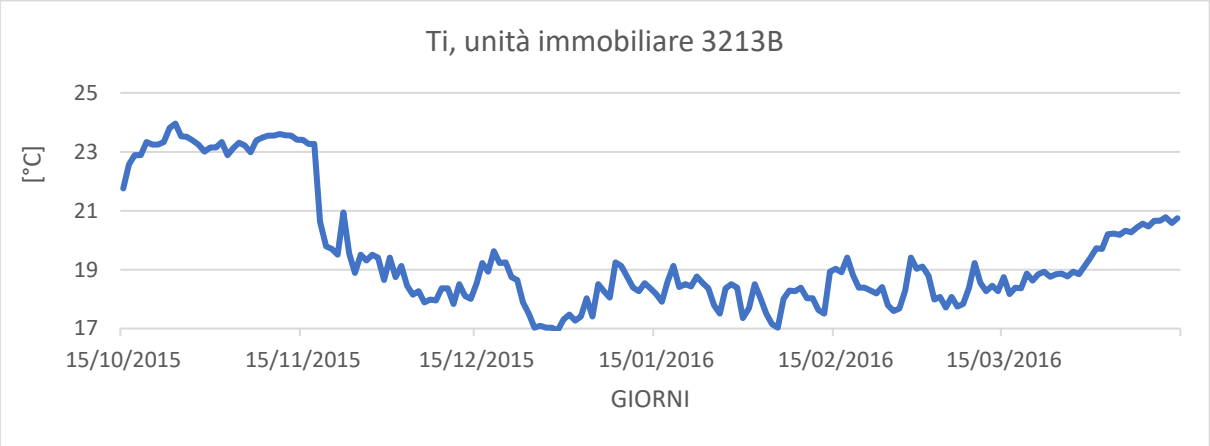


Figura 5.4. Temperatura media giornaliera interna dell'unità immobiliare 3213B.

Nell'analisi dei consumi che seguono, per non compromettere i risultati, non saranno considerate i valori anomali segnalati nella Tabella 5.1 riferiti agli alloggi sopra esaminati.

In base ai risultati forniti nella colonna "variazione dei consumi fra le stagioni 2015/2016 e 2016/2017" della Tabella 5.1. risulta che il 52% delle unità immobiliari che sono state occupate per entrambe le stagioni hanno registrato un incremento dei consumi. Fra queste per sei alloggi l'incremento registrato è superiore al 100%, con un valore massimo di 1962%, mentre per i restanti 59 la media dell'aumento di energia termica consumata si attesta sul + 21%. I valori di incremento di consumo di energia termica evidenziati in rosa nella Tabella 5.1. risultano chiaramente troppo elevati e necessitano di ulteriori analisi. In tuti i casi in cui si è registrato per lo stesso alloggio un decremento dei consumi questo non supera il 60% ed in media è pari al 19%.

Nelle Tabelle 5.3. e 5.4. sono riportati i consumi di ETh per le stagioni 2015/2016 e 2016/2017 sui quali è stata effettuata una prima normalizzazione. In ogni tabella sono riportate le seguenti informazioni:

- Numero identificativo dell'alloggio;
- La temperatura media stagionale tenuta all'interno dell'unità

immobiliare. Questo dato è calcolato per ogni unità in modo automatico dal foglio Excel durante la fase di scaricamento: un algoritmo permette la determinazione della media dei valori di temperatura registrati nel periodo di interesse.

- I gradi giorno effettivi di ogni unità immobiliare. Come per le Ti media stagionale, anche questo dato, il cui calcolo secondo la procedura descritta nel capitolo 4 richiederebbe molto tempo, è determinato grazie ad un algoritmo implementato nel linguaggio di programmazione VBA che permette lo scaricamento di tutti i dati necessari e il calcolo dei gradi giorno effettivi di ogni unità immobiliare.
- Il consumo di energia termica ETh normalizzato rispetto la superficie utile dell'alloggio, espresso in kWh/m^2;
- Il consumo di energia termica ETh*(20°C) ottenuto dal valore di ETh, moltiplicato per il rapporto fra i gradi giorno reali della rispettiva stagione ($GG_{20°C}$) e i gradi giorno effettivi (GG) di riferimento per l'alloggio nel medesimo periodo. I $GG_{20°C}$ sono pari a 2119,5 GG per la stagione 2015/2016 e 2127,4 GG per la stagione 2016/2017.
- La percentuale di incremento o decremento del consumo reale dell'alloggio ETh rispetto al consumo normalizzato ETh*(20°C). Tale percentuale indica lo scostamento del consumo di energia termica per riscaldamento dovuto al mantenimento di una temperatura interna media nella stagione diversa da 20°C.
- La percentuale di incremento o decremento del consumo reale dell'alloggio ETh rispetto alla media dei consumi ETh*(20°C) per l'edificio a cui appartiene l'alloggio. Tale percentuale indica lo scostamento del consumo di energia termica per il riscaldamento effettuato da ogni alloggio rispetto alla media dei consumi normalizzati delle unità immobiliari appartenenti allo stesso edificio. Si è scelto il valor medio di ETh*(20°C) in quanto non condizionato dalle temperature interne agli alloggi, permette quindi di eliminare una delle principali fonti di influenza dei consumi di energia termica. Il valore dello scostamento percentuale del consumo reale

dell'alloggio rispetto alla media dei consumi ETh*(20°C) tiene quindi conto delle caratteristiche dell'involucro edilizio della specifica unità immobiliare (presenza di ponti termici, aree delle vetrate, problemi dovuti alla costruzione e/o progettazione) e della sua specifica conduzione (set-point di temperatura interna impostati, ventilazione naturale, apporti interni, sfruttamento apporti solari ecc.). Il valor medio di ETh*(20°C) per ogni edificio è riportato nella Tabella 5.2.

	Cond.	***Numero Civico***			**Eth*(20°C) medio per edificio Stagione 2015/2016**	**Eth*(20°C) medio per edificio Stagione 2016/2017**	**Variazione % dei consumi medi per edificio normalizzati Eth*(20°C), fra le stagioni 2015/2016 e 2016/2017**
	[-]	**[-]**	**[-]**	**[-]**	**[kWh/m²]**	**[kWh/m²]**	**[%]**
Edificio 1	A			1	48,19	46,24	-4,0%
Edificio 2		2	2a	2b	45,91	46,54	1,4%
Edificio 3			3	3a	57,76	49,65	-14,0%
Edificio 4	B			4	50,82	65,84	29,6%
Edificio 5				5	56,33	47,06	-16,5%
Edificio 6			6a	6	81,67	86,22	5,6%
Edificio 7	C		7	7a	48,19	48,76	1,2%
Edificio 8			8	8a	63,53	73,95	16,4%
Edificio 9	D		9	9a	-	44,90	
Edificio 10	E			10	68,48	62,24	-9,1%
Edificio 11				11	63,53	60,56	-4,7%
Edificio 12				12	62,79	68,53	9,1%
Edificio 13		18	18	13	-	-	
Edificio 14	F		14a	14	74,14	78,41	5,8%
Edificio 15				22	66,84	83,03	24,2%
Edificio 16			24	24	60,28	60,75	0,8%
Edificio 17	G		28	28	51,61	51,98	0,7%
Edificio 18			28	28	50,45	54,25	1,9%
		max			81,7	86,2	29,56%
		min			45,9	44,9	-16,45%
		media			59,6	60,5	3,02%

Tabella 5.2. Valor medio di ETh(20°C) per ogni edificio.*

Dalla Tabella 5.2. risulta una notevole variazione dei consumi medi per edificio di energia termica normalizzata ETh*(20°C) nella stessa stagione. L'edifici 6 detiene per entrambi gli anni i valori maggiori di consumo che sono circa il doppio dei valori minimi di Eth*(20°C) calcolati per edificio nelle due stagioni. La variazione dei consumi normalizzati fra i diversi edifici risulta addirittura più marcata nell'ultima stagione analizzata.

Anche la variazione percentuale dei valori di consumo medio riferiti allo stesso edificio fra le due diverse stagioni di riscaldamento vede notevoli mutamenti sia di segno che di valore. Si passa infatti da un valore minimo di decremento di consumo di energia termica pari a -16% per l'edificio 5 ad un valore massimo di incremento di ETh*(20°C) medio per edificio pari a + 30% per l'edificio 4. Si deve ricordare che la variazione fra i valori di ETh*(20°C) riferiti alle diverse stagioni è influenzata dalla temperatura esterna.

Stagione riscaldamento 2015/2016							
Alloggio		Ti, medio stagionale	Gradi giorno effettivi	ETh	ETh* (20°C)	Variazione % tra Eth* (20°C) ed Eth	incremento/decremento di Eth rispetto il valor medio di Eth* (20°C)per l'edificio
N.I.		[°C]	[GG]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[%]	[%]
1113		22,0	2490	*84,87*	72,38	-14,7%	43,2%
1121		21,8	2457	*87,06*	75,26	-13,6%	44,6%
1123		22,4	2560	*33,49*	27,79	-17,0%	-43,9%
1132		21,1	2334	*82,64*	75,15	-9,1%	41,7%
1133		22,3	2542	*45,65*	38,15	-16,4%	-5,6%
1143		21,6	2419	*50,41*	44,24	-12,2%	4,4%
1153		20,6	2232	*39,16*	37,23	-4,9%	-23,0%
1163		22,0	2497	*74,86*	63,66	-15,0%	35,6%
1173		22,1	2502	*35,47*	30,11	-15,1%	-35,9%
1183		22,2	2535	*43,44*	36,39	-16,2%	-10,9%
1193		21,4	2385	*31,34*	27,90	-11,0%	-53,8%
11103		20,7	2255	*39,49*	37,17	-5,9%	-22,0%
11121		21,3	2359	*67,78*	61,00	-10,0%	28,9%
1231A		21,4	2383	*43,95*	39,15	-10,9%	-4,5%
1242A		15,7	1324	*3,99*	6,39	60,2%	-1050,0%
1211B		21,1	2330	*63,74*	58,08	-8,9%	28,0%
1212B		20,7	2242	*78,82*	74,60	-5,3%	41,8%
1221B		21,2	2346	*37,12*	33,59	-9,5%	-23,7%
1222B		21,0	2308	*39,16*	36,02	-8,0%	-17,2%

1212C		20,5	**2219**	***89,45***	85,56	-4,4%	48,7%
1213C		20,5	**2215**	***50,29***	48,19	-4,2%	8,7%
1223C		22,7	**2626**	***29,28***	23,69	-19,1%	-56,8%
1233C		20,2	**2154**	***54,62***	53,80	-1,5%	16,0%
1412A		21,4	**2378**	***77,60***	69,28	-10,7%	25,6%
1413A		21,1	**2318**	***105,53***	96,62	-8,4%	45,3%
1414A		21,1	**2319**	***84,73***	77,55	-8,5%	31,8%
1422A		21,7	**2442**	***53,51***	46,53	-13,0%	-8,0%
1423A		21,3	**2369**	***39,36***	35,27	-10,4%	-46,8%
1433A		20,6	**2239**	***52,63***	49,88	-5,2%	-9,8%
1441A		22,1	**2510**	***76,81***	64,99	-15,4%	24,8%
1442A		21,6	**2419**	***64,44***	56,56	-12,2%	10,4%
1443A		21,3	**2353**	***57,91***	52,25	-9,8%	0,3%
1444A		21,9	**2474**	***66,23***	56,85	-14,2%	12,8%
1412B		21,7	**2445**	***53,68***	46,62	-13,1%	-7,6%
1413B		21,9	**2470**	***107,88***	92,75	-14,0%	46,5%
1422B		21,7	**2440**	***54,26***	47,22	-13,0%	-6,5%
1423B		20,7	**2258**	***19,71***	18,53	-6,0%	-193,1%
1432B		22,2	**2528**	***50,02***	42,02	-16,0%	-15,5%
1433B		20,4	**2187**	***73,48***	71,31	-2,9%	21,4%
2103C		20,5	**2207**	***75,04***	72,16	-3,8%	32,3%
2111C		20,7	**2220**	***65,38***	61,66	-5,7%	22,3%
2122C		21,4	**2384**	***38,16***	33,98	-10,9%	-33,2%
2132C		22,1	**2516**	***90,12***	76,08	-15,6%	43,6%
2142C		16,8	**1533**	***7,37***	10,19	38,2%	-589,1%
2111D		21,9	**2479**	***55,99***	47,96	-14,3%	-0,6%
2112D		22,2	**2525**	***52,38***	44,06	-15,9%	-7,5%
2123D		20,0	**2119**	***8,10***	8,11	0,1%	-595,6%
2131D		21,1	**2329**	***85,10***	77,57	-8,8%	33,8%
2133D		21,4	**2382**	***82,85***	73,84	-10,9%	32,0%
2134D		22,0	**2498**	***101,66***	86,45	-15,0%	44,6%
2202E		18,0	**1749**	***44,27***	53,65	21,2%	-84,5%
2221E		21,2	**2349**	***72,65***	65,65	-9,6%	-12,4%
2222E		21,4	**2386**	***95,45***	84,94	-11,0%	14,4%
2232E		22,1	**2519**	***83,91***	70,73	-15,7%	2,7%
2222F		20,4	**2196**	***108,26***	104,62	-3,4%	24,6%
2223F		21,7	**2433**	***126,50***	110,42	-12,7%	35,4%
2301A		16,6	**1492**	***29,65***	42,14	42,1%	-62,5%
2311A		22,1	**2519**	***61,57***	51,91	-15,7%	21,7%
2312A		22,1	**2508**	***76,49***	64,78	-15,3%	37,0%
2322A		20,0	**2127**	***16,83***	16,79	-0,2%	-186,4%
2323A		22,2	**2538**	***43,41***	36,34	-16,3%	-11,0%
2324A		20,5	**2220**	***39,92***	38,16	-4,4%	-20,7%
2332A		20,1	**2132**	***53,31***	53,06	-0,5%	9,6%
2333A		21,1	**2327**	***79,24***	72,28	-8,8%	39,2%

2305B		21,5	**2394**	***59,49***	52,76	-11,3%	19,0%
2322B		22,3	**2553**	***49,81***	41,44	-16,8%	3,2%
2331B		20,8	**2276**	***43,68***	40,73	-6,8%	-10,3%
2332B		21,3	**2354**	***75,30***	67,92	-9,8%	36,0%
2422G		21,8	**2462**	***70,54***	60,84	-13,7%	9,9%
2401H		21,1	**2323**	***69,80***	63,78	-8,6%	9,0%
2402H		21,7	**2441**	***71,78***	62,44	-13,0%	11,5%
2422H		21,4	**2378**	***58,50***	52,24	-10,7%	-8,6%
2432H		22,0	**2488**	***91,79***	78,36	-14,6%	30,8%
3202A		21,5	**2395**	***88,42***	78,38	-11,4%	22,6%
3212A		22,2	**2522**	***86,36***	72,72	-15,8%	20,7%
3221A		21,2	**2349**	***60,12***	54,34	-9,6%	-13,9%
3202B		20,5	**2219**	***53,52***	51,19	-4,3%	-18,7%
3204B		21,5	**2393**	***82,60***	73,27	-11,3%	23,1%
3223B		21,9	**2479**	***115,71***	99,14	-14,3%	45,1%
3224B		15,7	**1334**	***19,22***	30,51	58,7%	-230,5%
3202F		20,9	**2283**	***64,90***	60,33	-7,0%	3,2%
3213F		21,5	**2395**	***57,82***	51,26	-11,3%	-8,6%
3221F		21,0	**2301**	***66,00***	60,89	-7,7%	4,9%
3223F		21,8	**2449**	***50,97***	44,19	-13,3%	-23,2%
3232F		20,3	**2175**	***58,64***	57,22	-2,4%	-7,1%
3233F		21,7	**2432**	***104,15***	90,94	-12,7%	39,7%
3234F		21,2	**2345**	***82,51***	74,71	-9,5%	23,9%
4112A		21,7	**2433**	***81,39***	71,03	-12,7%	8,9%
4122A		21,0	**2307**	***93,88***	86,36	-8,0%	21,0%
4101B		23,5	**2772**	***84,83***	65,03	-23,3%	12,6%
4201A		21,6	**2418**	***87,31***	76,68	-12,2%	40,9%
4202A		19,8	**2091**	***84,48***	85,70	1,4%	38,9%
4212A		20,0	**2117**	***56,94***	57,07	0,2%	9,3%
4213A		21,6	**2416**	***58,08***	51,04	-12,1%	11,1%
4214A		21,6	**2427**	***49,93***	43,69	-12,5%	-3,4%
4222A		21,2	**2341**	***65,42***	59,33	-9,3%	21,1%
4223A		21,3	**2370**	***43,70***	39,15	-10,4%	-18,1%
4224A		22,1	**2511**	***36,49***	30,87	-15,4%	-41,4%
4232A		18,9	**1923**	***38,80***	42,79	10,3%	-33,0%
4233A		20,0	**2130**	***36,24***	36,10	-0,4%	-42,4%
4234A		20,7	**2248**	***37,58***	35,47	-5,6%	-37,4%
4201C		22,0	**2490**	***45,62***	38,91	-14,7%	-13,1%
4203C		20,6	**2229**	***87,75***	83,55	-4,8%	41,2%
4211C		21,9	**2475**	***32,64***	28,00	-14,2%	-58,1%
4212C		21,7	**2431**	***21,11***	18,45	-12,6%	-144,5%
4214C		20,4	**2189**	***12,98***	12,58	-3,0%	-297,8%
4221C		22,1	**2517**	***55,66***	46,96	-15,6%	7,3%
4222C		21,9	**2472**	***55,07***	47,31	-14,1%	6,3%
4223C		22,1	**2516**	***80,90***	68,29	-15,6%	36,2%

4232C		21,1	**2326**	***81,44***	74,31	-8,8%	36,6%
4233C		21,6	**2424**	***122,89***	107,64	-12,4%	58,0%
4303		21,2	**2351**	***43,52***	39,30	-9,7%	-15,9%
4304		21,8	**2460**	***59,74***	51,58	-13,7%	15,6%
4306		20,4	**2194**	***38,94***	37,67	-3,3%	-29,5%
4307		21,7	**2432**	***69,05***	60,28	-12,7%	26,9%
4321		21,6	**2415**	***72,10***	63,40	-12,1%	30,0%
4412		20,9	**2286**	***61,64***	57,24	-7,1%	-8,4%
4422		22,0	**2489**	***89,60***	76,43	-14,7%	25,4%
4501A		20,6	**2224**	***82,68***	78,88	-4,6%	27,1%
4502A		21,2	**2336**	***52,18***	47,42	-9,1%	-15,5%
4504A		21,8	**2463**	***91,42***	78,84	-13,8%	34,1%
4512A		21,8	**2452**	***47,40***	41,05	-13,4%	-27,2%
4513A		21,3	**2354**	***65,96***	59,50	-9,8%	8,6%
4515A		21,0	**2298**	***45,09***	41,66	-7,6%	-33,7%
4522A		21,5	**2397**	***98,98***	87,67	-11,4%	39,1%
4523A		21,6	**2427**	***67,60***	59,15	-12,5%	10,8%
4524A		20,5	**2218**	***85,88***	82,17	-4,3%	29,8%
4501B		19,6	**2039**	***41,19***	42,86	4,1%	-46,3%
4502B		19,7	**2064**	***42,72***	43,90	2,8%	-41,1%

max	23,5	2772,4	126,5	110,4	60,2%	58,0%
min	15,7	1324,0	4,0	6,4	-23,3%	-1050,0%
media	21,1	2331,5	62,2	56,1	-7,9%	-20,3%

Tabella 5.3. Consumi di energia termica per riscaldamento nelle stagioni 2015/2016 normalizzati rispetto la temperatura interna

Stagione riscaldamento 2016/2017							
Alloggio		**Ti, medio stagionale**	**Gradi giorno effettivi**	**ETh**	**ETh* (20°C)**	**Variazione % tra Eth* (20°C) ed Eth**	**incremento/decremento di Eth rispetto il valor medio di Eth* (20°C) per l'edificio**
N.I.		**[°C]**	**[GG]**	**[kWh/m²]**	**[kWh/m²]**	**[%]**	**[%]**
1113		22,1	**2511**	***84,87***	71,92	-15,3%	45,5%
1121		22,1	**2514**	***69,67***	58,96	-15,4%	33,6%
1122		21,8	**2461**	***50,30***	43,48	-13,6%	8,1%
1123		22,5	**2590**	***36,69***	30,14	-17,8%	-26,0%
1131		22,2	**2532**	***64,63***	54,30	-16,0%	28,5%
1132		21,6	**2418**	***75,07***	66,05	-12,0%	38,4%
1133		21,6	**2422**	***26,51***	23,29	-12,1%	-74,4%

1142		21,8	**2450**	***67,68***	58,78	-13,2%	31,7%
1143		21,2	**2340**	***33,02***	30,02	-9,1%	-40,1%
1153		21,7	**2447**	***49,90***	43,38	-13,1%	7,3%
1163		22,2	**2521**	***68,51***	57,80	-15,6%	32,5%
1173		22,2	**2522**	***34,04***	28,71	-15,7%	-35,8%
1183		22,4	**2565**	***39,90***	33,09	-17,1%	-15,9%
1193		21,8	**2457**	***34,73***	30,06	-13,4%	-33,1%
11103		21,4	**2380**	***50,87***	45,46	-10,6%	9,1%
11121		21,9	**2483**	***75,21***	64,43	-14,3%	38,5%
1231A		21,9	**2481**	***47,17***	40,45	-14,3%	1,3%
1241A		22,1	**2511**	***71,69***	60,73	-15,3%	35,1%
1242A		22,2	**2528**	***82,32***	69,29	-15,8%	43,5%
1211B		21,3	**2359**	***49,88***	44,98	-9,8%	6,7%
1212B		21,2	**2344**	***85,13***	77,25	-9,3%	45,3%
1221B		21,5	**2397**	***29,34***	26,04	-11,2%	-58,6%
1222B		21,2	**2340**	***27,41***	24,92	-9,1%	-69,8%
1211C		21,1	**2335**	***74,29***	67,69	-8,9%	37,4%
1212C		21,5	**2398**	***64,97***	57,64	-11,3%	28,4%
1213C		21,2	**2353**	***36,28***	32,80	-9,6%	-28,3%
1223C		22,6	**2611**	***19,28***	15,71	-18,5%	-141,4%
1233C		21,0	**2317**	***44,66***	41,00	-8,2%	-4,2%
1411A		22,2	**2533**	***54,24***	45,55	-16,0%	8,5%
1412A		21,9	**2482**	***75,50***	64,71	-14,3%	34,2%
1413A		21,8	**2453**	***105,63***	91,62	-13,3%	53,0%
1414A		21,8	**2462**	***58,79***	50,80	-13,6%	15,5%
1422A		22,2	**2524**	***57,77***	48,68	-15,7%	14,0%
1423A		21,6	**2426**	***20,04***	17,57	-12,3%	-147,8%
1424A		22,2	**2538**	***20,37***	17,07	-16,2%	-143,8%
1431A		22,1	**2508**	***41,23***	34,97	-15,2%	-20,4%
1433A		22,0	**2489**	***83,72***	71,55	-14,5%	40,7%
1434A		22,3	**2544**	***48,53***	40,58	-16,4%	-2,3%
1441A		22,1	**2510**	***58,84***	49,87	-15,2%	15,6%
1442A		21,9	**2473**	***79,94***	68,77	-14,0%	37,9%
1443A		21,1	**2331**	***53,56***	48,88	-8,7%	7,3%
1411B		22,2	**2536**	***62,13***	52,11	-16,1%	20,1%
1412B		22,2	**2525**	***49,89***	42,03	-15,8%	0,5%
1413B		21,7	**2447**	***81,87***	71,18	-13,1%	39,3%
1422B		22,2	**2525**	***56,61***	47,70	-15,7%	12,3%
1423B		21,0	**2318**	***21,95***	20,15	-8,2%	-126,2%
1432B		22,5	**2587**	***47,19***	38,81	-17,8%	-5,2%
1433B		21,0	**2303**	***76,32***	70,50	-7,6%	34,9%
2102C		21,9	**2483**	***59,13***	50,67	-14,3%	-11,3%
2103C		21,5	**2400**	***99,23***	87,96	-11,4%	33,7%
2111C		21,4	**2377**	***64,38***	57,62	-10,5%	-2,3%
2122C		21,5	**2397**	***56,02***	49,71	-11,3%	-17,5%

2131C		22,1	**2521**	***72,65***	61,32	-15,6%	9,4%
2132C		22,4	**2564**	***57,95***	48,07	-17,0%	-13,6%
2142C		21,5	**2399**	***82,59***	73,24	-11,3%	20,3%
2143C		21,5	**2409**	***111,11***	98,11	-11,7%	40,7%
2111D		22,0	**2501**	***45,68***	38,86	-14,9%	-3,0%
2112D		22,2	**2533**	***62,41***	52,41	-16,0%	24,6%
2121D		21,6	**2420**	***30,03***	26,39	-12,1%	-56,7%
2122D		21,6	**2420**	***44,60***	39,21	-12,1%	-5,5%
2123D		20,6	**2244**	***17,97***	17,04	-5,2%	-161,9%
2131D		21,9	**2467**	***76,43***	65,92	-13,8%	38,4%
2133D		22,2	**2521**	***72,59***	61,25	-15,6%	35,2%
2134D		22,1	**2507**	***88,89***	75,44	-15,1%	47,1%
2202E		21,4	**2375**	***82,48***	73,88	-10,4%	-4,5%
2221E		21,2	**2352**	***75,36***	68,15	-9,6%	-14,4%
2222E		20,9	**2289**	***97,07***	90,22	-7,1%	11,2%
2232E		22,1	**2507**	***77,39***	65,66	-15,2%	-11,4%
2222F		20,6	**2231**	***118,86***	113,34	-4,6%	27,5%
2223F		21,8	**2455**	***122,36***	106,05	-13,3%	29,5%
2301A		21,1	**2329**	***68,61***	62,67	-8,6%	28,9%
2311A		21,6	**2414**	***46,36***	40,86	-11,9%	-5,2%
2312A		22,0	**2488**	***57,34***	49,03	-14,5%	15,0%
2322A		20,4	**2196**	***25,08***	24,29	-3,1%	-94,4%
2323A		22,1	**2519**	***26,12***	22,05	-15,6%	-86,7%
2324A		20,8	**2270**	***43,80***	41,04	-6,3%	-11,3%
2331A		21,5	**2399**	***31,96***	28,34	-11,3%	-52,6%
2332A		21,4	**2378**	***56,84***	50,85	-10,5%	14,2%
2333A		21,7	**2447**	***96,66***	84,03	-13,1%	49,6%
2305B		23,1	**2686**	***70,13***	55,54	-20,8%	30,5%
2321B		21,1	**2321**	***60,17***	55,16	-8,3%	19,0%
2322B		22,3	**2547**	***53,61***	44,78	-16,5%	9,1%
2332B		21,8	**2458**	***86,86***	75,17	-13,5%	43,9%
2422G		20,9	**2287**	***112,12***	104,30	-7,0%	34,0%
2401H		21,6	**2424**	***75,23***	66,03	-12,2%	1,7%
2402H		21,8	**2450**	***57,77***	50,15	-13,2%	-28,0%
2422H		21,8	**2465**	***79,36***	68,50	-13,7%	6,8%
2432H		21,9	**2475**	***93,95***	80,76	-14,0%	21,3%
3111		21,8	**2454**	***63,17***	54,77	-13,3%	28,9%
3112		21,7	**2447**	***28,95***	25,17	-13,1%	-55,1%
3113		22,2	**2529**	***37,01***	31,13	-15,9%	-21,3%
3114		20,9	**2285**	***29,81***	27,75	-6,9%	-50,6%
3115		22,0	**2493**	***57,07***	48,70	-14,7%	21,3%
3121		20,1	**2138**	***71,87***	71,52	-0,5%	37,5%
3122		22,0	**2489**	***42,31***	36,16	-14,5%	-6,1%
3123		22,0	**2486**	***55,92***	47,86	-14,4%	19,7%
3124		21,8	**2454**	***80,38***	69,68	-13,3%	44,1%

3125		21,5	**2400**	***40,91***	36,26	-11,4%	-9,7%
3202A		21,3	**2361**	***89,12***	80,32	-9,9%	30,2%
3203A		21,7	**2431**	***72,94***	63,84	-12,5%	14,7%
3212A		21,9	**2469**	***72,83***	62,75	-13,8%	14,5%
3221A		22,1	**2504**	***55,47***	47,13	-15,0%	-12,2%
3222A		22,2	**2525**	***67,85***	57,16	-15,8%	8,3%
3202B		21,2	**2350**	***56,08***	50,76	-9,5%	-8,0%
3203B		21,2	**2350**	***69,66***	62,99	-9,6%	13,1%
3204B		21,0	**2311**	***77,12***	70,92	-8,0%	21,5%
3213B		18,9	**1918**	***16,52***	18,32	10,9%	-266,6%
3223B		20,9	**2285**	***88,96***	82,84	-6,9%	31,9%
3224B		20,1	**2148**	***78,27***	77,50	-1,0%	22,6%
3202F		21,4	**2379**	***78,31***	70,03	-10,6%	12,5%
3205F		21,4	**2392**	***73,16***	65,08	-11,1%	6,3%
3213F		22,0	**2493**	***65,13***	55,58	-14,7%	-5,2%
3221F		21,2	**2338**	***85,59***	77,88	-9,0%	19,9%
3223F		22,0	**2494**	***61,10***	52,13	-14,7%	-12,2%
3232F		21,4	**2387**	***85,81***	76,47	-10,9%	20,1%
3233F		22,0	**2498**	***81,39***	69,32	-14,8%	15,8%
3234F		22,1	**2515**	***96,69***	81,78	-15,4%	29,1%
4111A		21,6	**2414**	***104,71***	92,27	-11,9%	25,1%
4112A		21,8	**2448**	***84,41***	73,35	-13,1%	7,1%
4122A		21,8	**2452**	***100,14***	86,87	-13,3%	21,7%
4101B		23,2	**2707**	***77,82***	61,16	-21,4%	-0,8%
4201A		21,9	**2483**	***97,56***	83,60	-14,3%	46,7%
4202A		21,0	**2305**	***92,96***	85,81	-7,7%	44,1%
4203A		22,0	**2493**	***105,91***	90,37	-14,7%	50,9%
4212A		20,9	**2293**	***69,23***	64,23	-7,2%	24,9%
4213A		21,7	**2441**	***55,47***	48,35	-12,8%	6,3%
4214A		21,8	**2454**	***31,20***	27,04	-13,3%	-66,6%
4222A		20,9	**2292**	***51,41***	47,73	-7,2%	-1,1%
4223A		22,0	**2494**	***62,98***	53,72	-14,7%	17,5%
4224A		22,2	**2528**	***39,02***	32,83	-15,9%	-33,2%
4232A		21,1	**2322**	***59,46***	54,48	-8,4%	12,6%
4233A		19,7	**2068**	***15,03***	15,47	2,9%	-245,8%
4234A		20,8	**2267**	***31,08***	29,16	-6,2%	-67,3%
4201C		22,0	**2494**	***39,13***	33,38	-14,7%	-32,9%
4203C		22,1	**2508**	***87,25***	74,02	-15,2%	40,4%
4204C		21,6	**2421**	***17,42***	15,30	-12,1%	-198,5%
4211C		22,2	**2538**	***44,67***	37,44	-16,2%	-16,4%
4221C		21,6	**2412**	***35,02***	30,89	-11,8%	-48,4%
4222C		22,1	**2514**	***56,10***	47,48	-15,4%	7,3%
4223C		22,2	**2524**	***69,79***	58,82	-15,7%	25,5%
4232C		21,1	**2334**	***71,58***	65,24	-8,9%	27,4%
4233C		22,1	**2513**	***113,81***	96,33	-15,4%	54,3%

4303		20,9	**2291**	***39,51***	36,68	-7,2%	-37,3%
4304		21,6	**2413**	***65,58***	57,82	-11,8%	17,3%
4306		24,1	**2873**	***108,26***	80,16	-26,0%	49,9%
4307		22,1	**2508**	***72,74***	61,72	-15,2%	25,4%
4308		21,0	**2306**	***76,07***	70,19	-7,7%	28,7%
4309		22,3	**2542**	***69,99***	58,56	-16,3%	22,5%
4311		22,2	**2526**	***33,86***	28,51	-15,8%	-60,2%
4313		21,6	**2411**	***50,36***	44,42	-11,8%	-7,7%
4321		22,0	**2499**	***58,90***	50,14	-14,9%	7,9%
4403		21,5	**2407**	***104,93***	92,75	-11,6%	20,9%
4404		21,8	**2448**	***55,48***	48,21	-13,1%	-49,7%
4412		21,1	**2333**	***118,58***	108,11	-8,8%	30,0%
4502A		21,5	**2402**	***73,54***	65,12	-11,4%	17,4%
4504A		21,8	**2459**	***75,47***	65,30	-13,5%	19,5%
4512A		21,3	**2363**	***59,18***	53,27	-10,0%	-2,7%
4513A		20,9	**2295**	***48,92***	45,35	-7,3%	-24,2%
4514A		21,3	**2371**	***78,79***	70,69	-10,3%	22,9%
4515A		21,2	**2352**	***46,10***	41,69	-9,6%	-31,8%
4522A		21,6	**2422**	***86,20***	75,73	-12,2%	29,5%
4523A		21,9	**2481**	***81,66***	70,02	-14,3%	25,6%
4524A		21,1	**2338**	***90,32***	82,20	-9,0%	32,7%
4501B		20,6	**2238**	***37,32***	35,47	-4,9%	-62,8%
4502B		20,2	**2168**	***64,59***	63,39	-1,9%	5,9%

max	24,1	2872,9	122,4	113,3	10,9%	54,3%
min	18,9	1917,6	15,0	15,3	-26,0%	-266,6%
media	21,6	2427,4	63,6	55,7	-12,2%	-2,5%

LEGENDA	
aaa	valore negativo/ incremento di consumo
aaa	valore positivo/decremento di consumo
	valore anomalo
	variazione dei consumi anomala

Tabella 5.4. Consumi di energia termica per riscaldamento nelle stagioni 2016/2017 normalizzati rispetto la temperatura interna.

Per entrambe le stagioni analizzate stupisce subito l'enorme differenza tra i valori di consumo ETh dei vari alloggi. I consumi vanno da un minimo per gli anni 2016/2017 pari a 3.99 kWh/m^{2}a misurato nell'appartamento 1242A ad un massimo di 126,5 kWh/m^{2}a per alloggio 2223F. Quest'ultimo valore, pur essendo il massimo della colonna ETh, non

corrisponde al maggior incremento rispetto il valor medio normalizzato Eth*(20°C) per l'edificio. Per la stagione 2016/2017 i consumi sono compresi nell'intervallo variante da 15,0 kWh/m^{2}a a 122,4 kWh/m^{2}a. L'alloggio che detiene il valor massimo di consumo è il medesimo per entrambe le stagioni, ovvero quello identificato con codice 2223F.

La grande dispersione dei valori energia termica misurati è facilmente visibile nelle Figure sottostanti dove sono riportati gli istogrammi dei valori di consumo normalizzato ETh*2404 degli alloggi suddivisi per condomini di appartenenza. Si è scelto di rappresentare il valore di consumo ETh*2404 in quanto permette il confronto fra i diversi alloggi nelle due stagioni analizzate. Per ogni alloggio sono quindi riportate due barre relative ai valori di consumo nelle due stagioni, confrontabili con le linee verticali rappresentanti i consumi medi di ETh*2404 del condominio nei due periodi. Come visibile in molti casi sono state registrate enormi variazioni di consumo anche per lo stesso alloggio per le diverse stagioni.

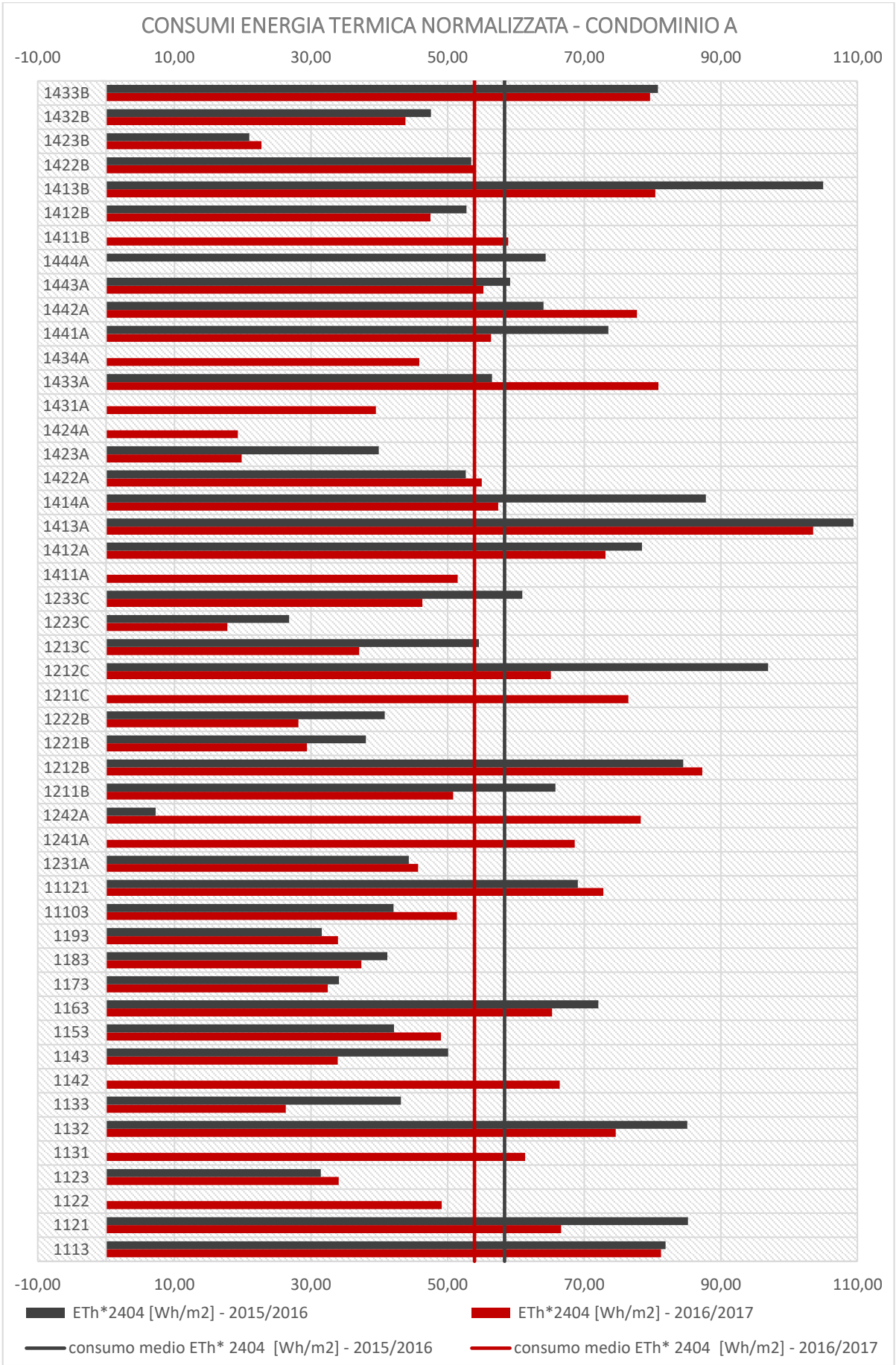


*Figura 5.5 Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni.*

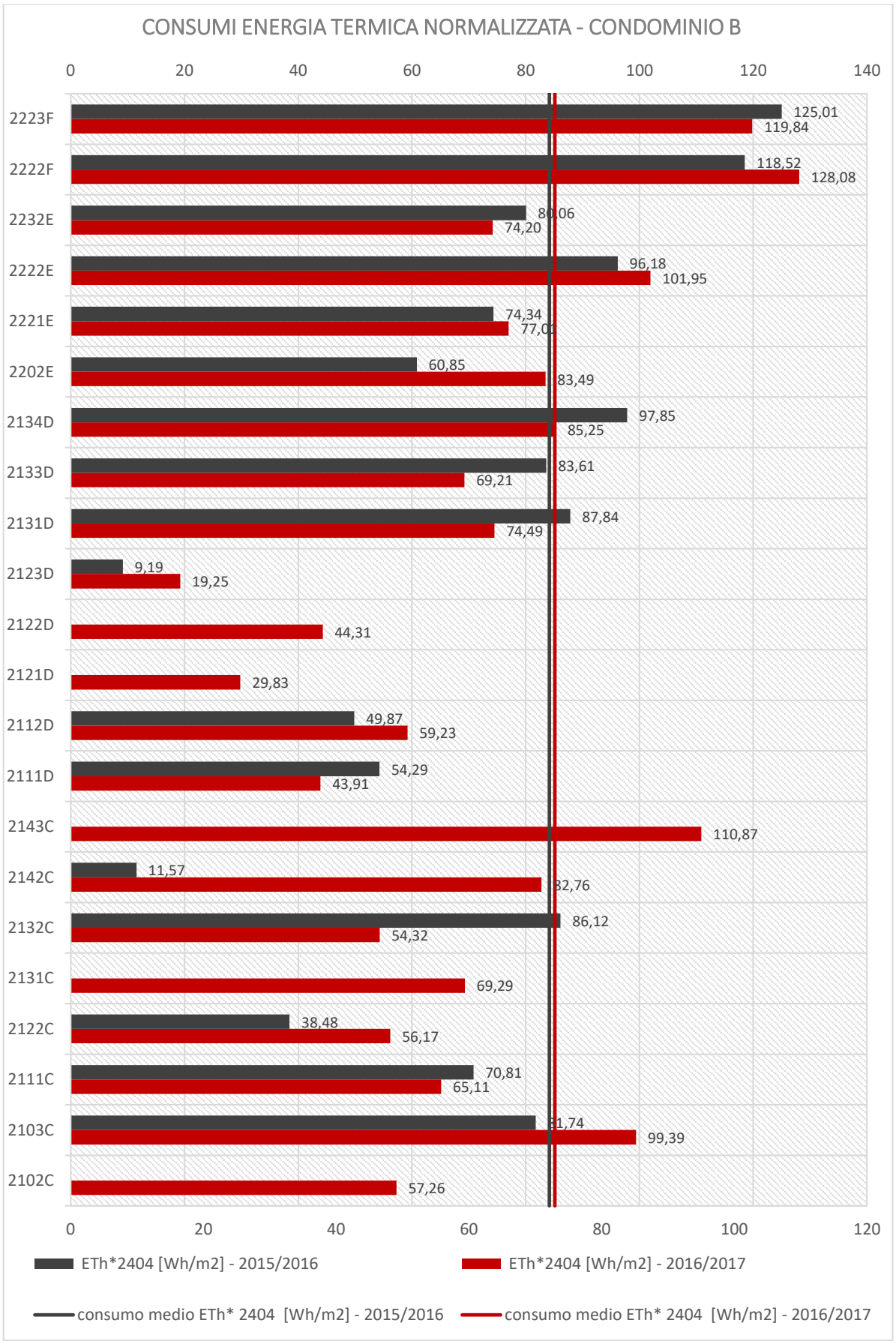


*Figura 5.6 Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio B.*

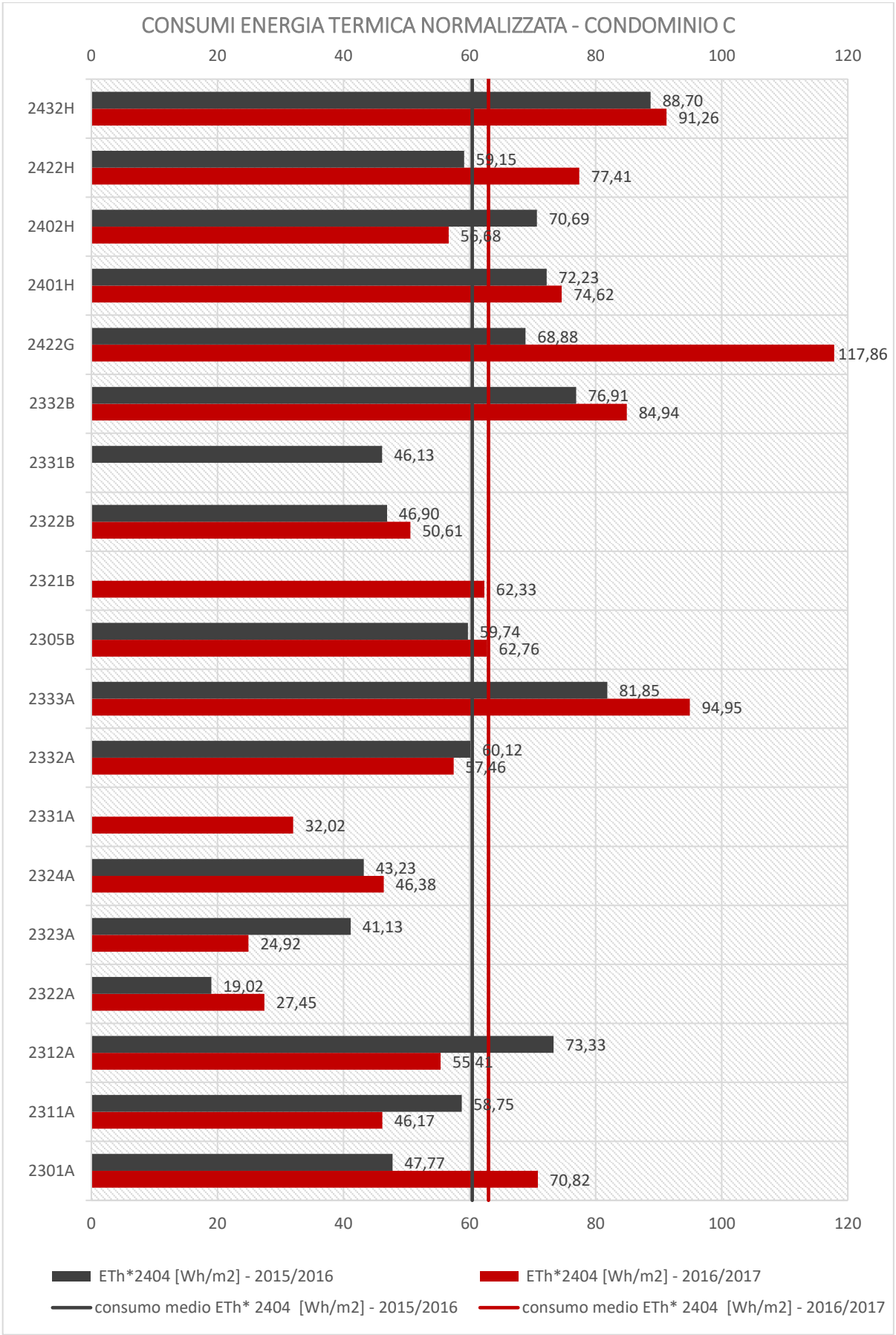


*Figura 5.7. Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio C.*

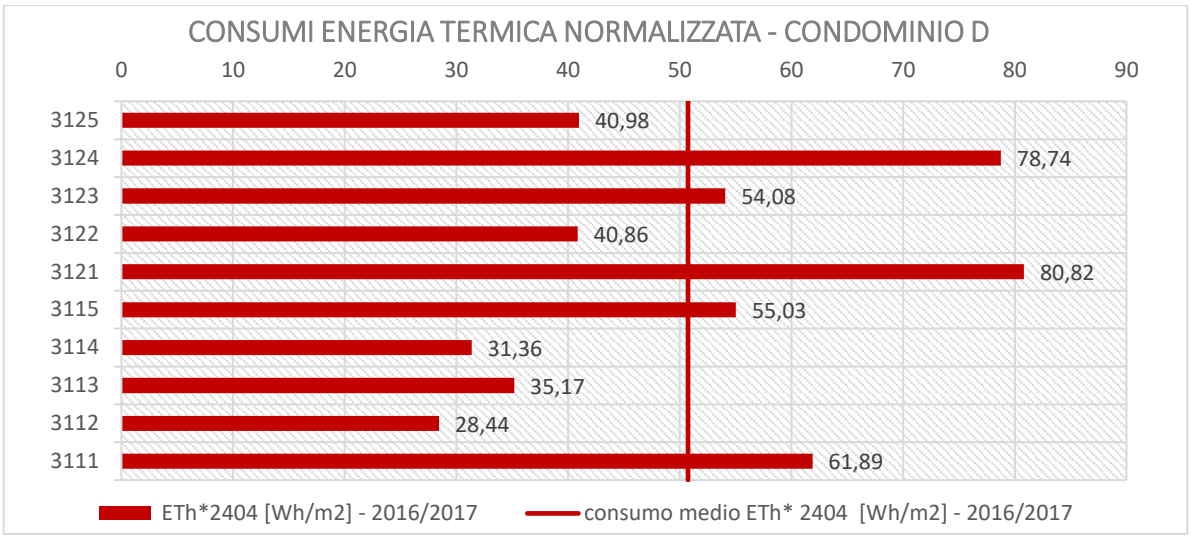


*Figura 5.8 Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio D.*

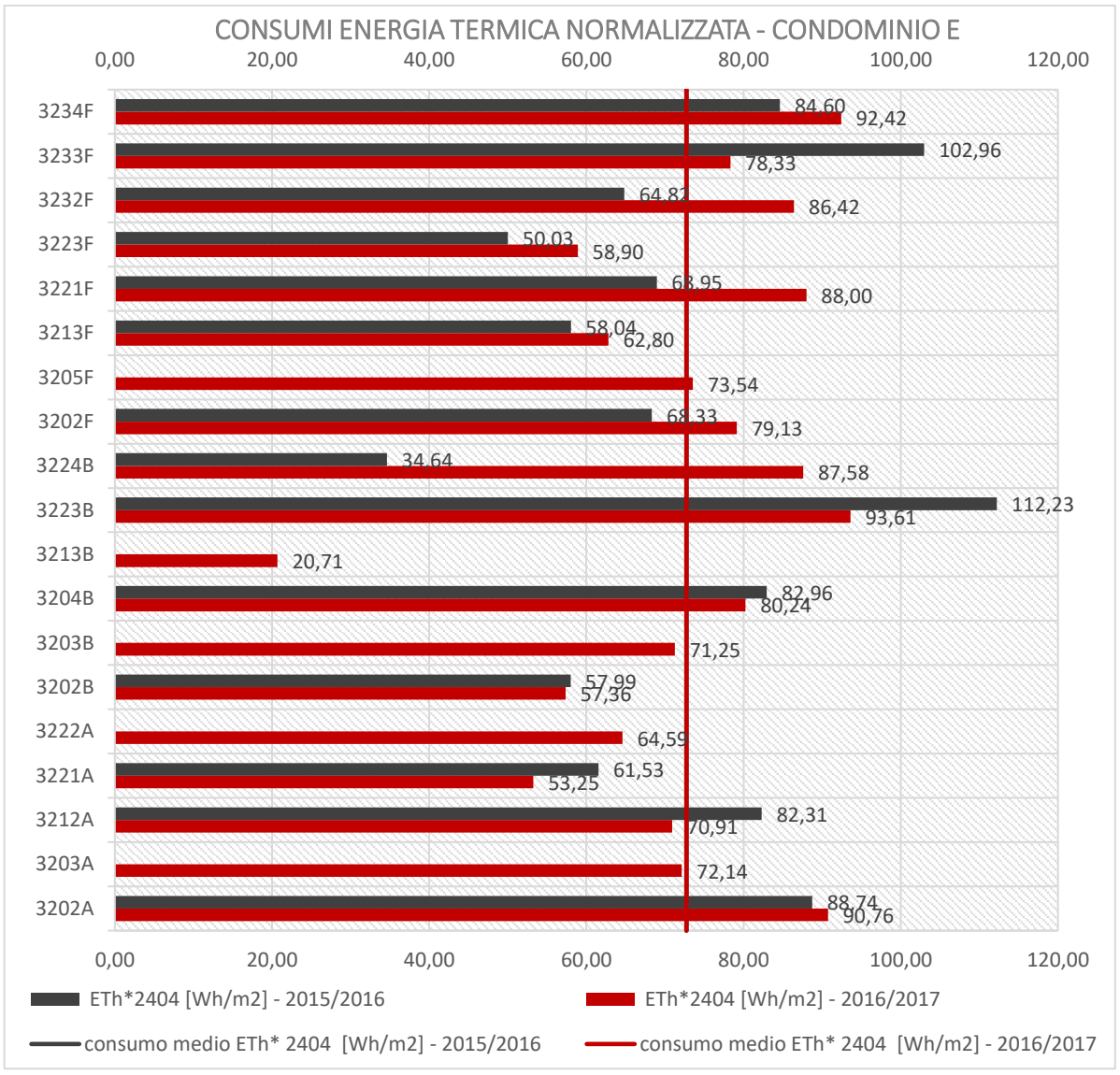


*Figura 5.9. Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio E.*

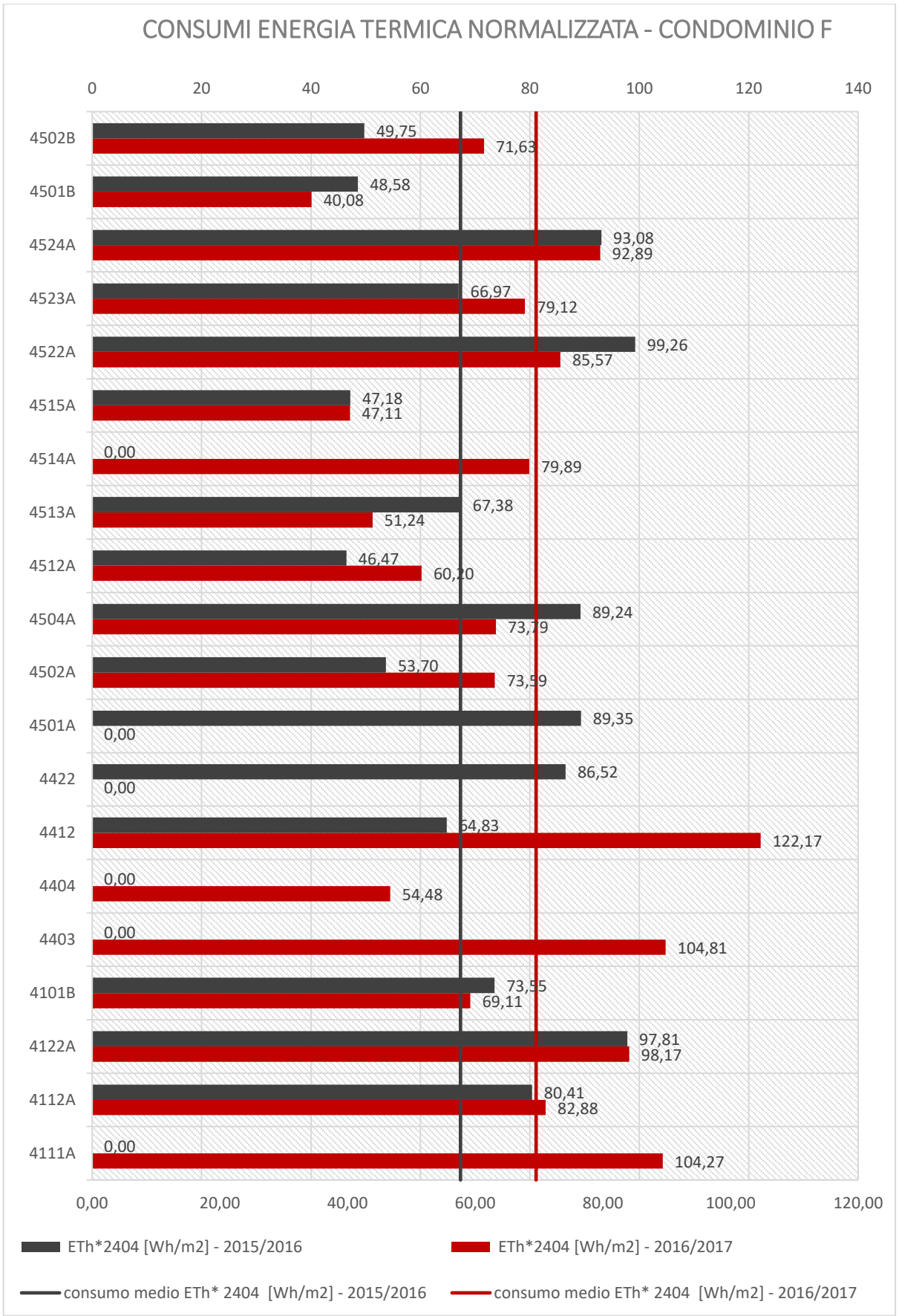


*Figura 5.10. Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio F.*

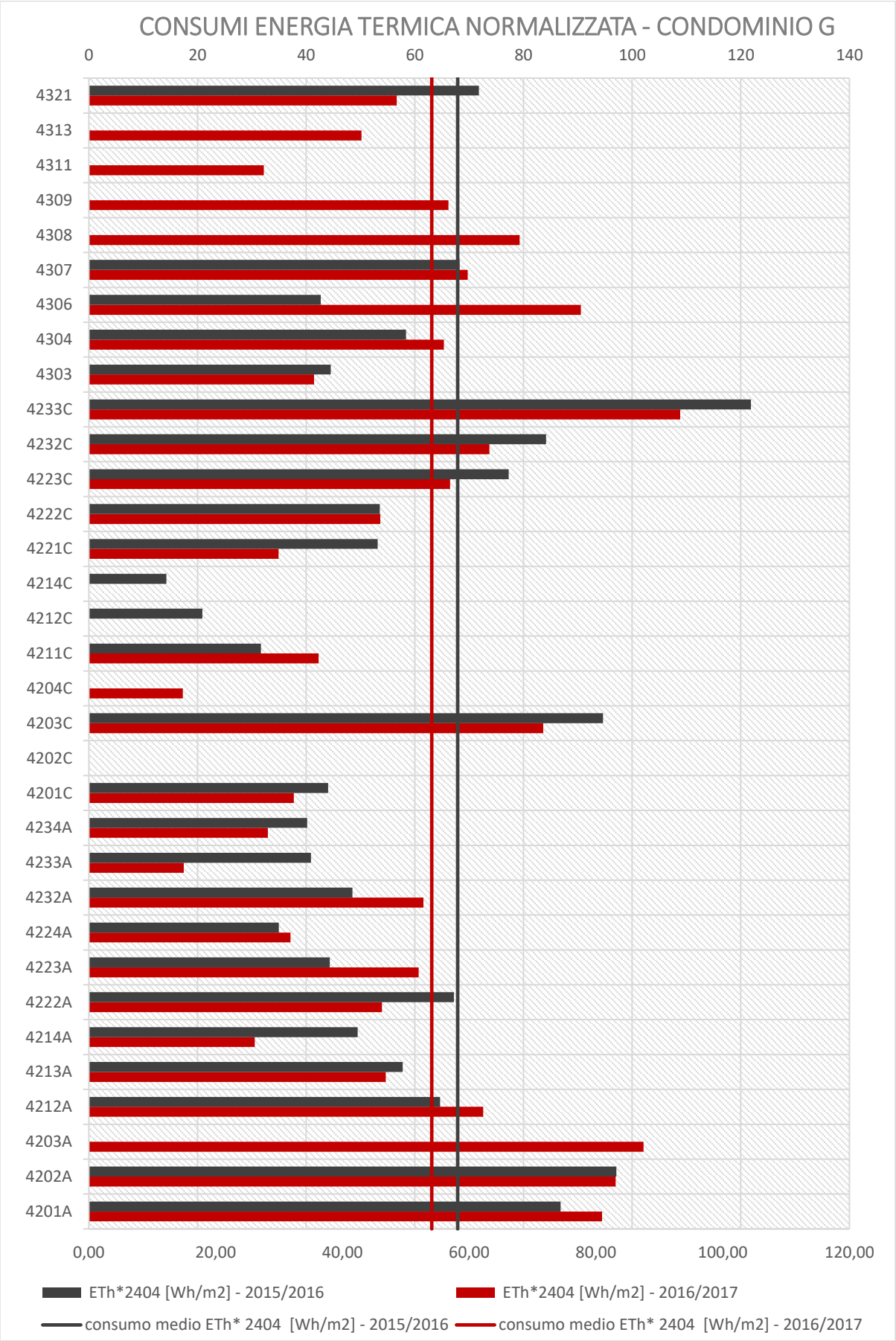


*Figura 5.11. Confronto dei consumi di energia termica normalizzata ETh*2404 nelle due stagioni per il condominio G.*

Considerando due limiti pari alla media di ETh più o meno la deviazione standard della popolazione dei valori analizzati quale limiti teorici accettabili di consumo, si trova che per la stagione 2015/2016 38 unità immobiliari sono a di fuori di tale intervallo, di cui 20 superano il limite superiore e 18 il limite inferiore, mentre per la stagione 2016/2017 addirittura 54 appartamenti: 23 con consumo al di sopra gel range stabilito e 31 al di sotto. Nell'ultima stagione la differenza fra i consumi di ETh è quindi ancor più accentuata.

Dall'analisi dei valori di temperatura interna delle unità immobiliari emerge una tendenza a mantenere valori di set-point maggiori a 20°C. In media gli alloggi registrano un valore medio stagionale di Ti intorno a 21°C per entrambe le stagioni. Ciò determina un incremento medio teorico dei consumi di ETh pari ad un 8% per la stagione 2015/2016 e 12% per la stagione 2016/2017. 21 appartamenti nella prima stagione e 50 nella seconda risultano aver mantenuto una Ti media stagionale superiore a 22°C, causando un incremento dei consumi di energia termica di poco più del 16%. Nonostante ciò, per quest'ultimi alloggi, la media della variazione dei consumi di ETh rispetto al valore di Eth* (20°C) per l'intero edificio risulta pari ad un solo più + 3% per la stagione 2015/2016 e + 1% per la stagione 2016/2017. Stupisce il fatto che solo 4 alloggi per la stagione 2016/2017 dei 50 a cui corrisponde una Ti media stagionale maggiore di 22 °C risultano aver consumato energia termica per il riscaldamento per un valore maggiore alla media più la deviazione standard dell'intera popolazione, mentre per la stagione 2015/2016 solo 2 alloggi sui 21 trovati. I restanti 18 alloggi per la prima stagione analizzata e 19 per la seconda, con valore di ETh al di fuori del range sopra definito, risultano aver mantenuto una temperatura interna medio stagionale inferiore a 22 °C. Molti alloggi, a cui corrisponde un valor medio stagionale di Ti superiore a 22 °C, hanno consumato un ammontare di energia termica ETh inferiore alla media del condominio a cui appartengono. Ad una prima analisi non sembra esistere una correlazione diretta tra la i valori contenuti nella colonna Ti e quelli nell'ultima colonna di destra delle Tabelle 5.3 e 5.4..

L'andamento del consumo di energia termica reale ETh espresso in kWh/m^2, in funzione della temperatura interna medio stagionale mantenuta dagli alloggi, è visibile nei grafici riportati nelle Figure 5.12 e 5.13.

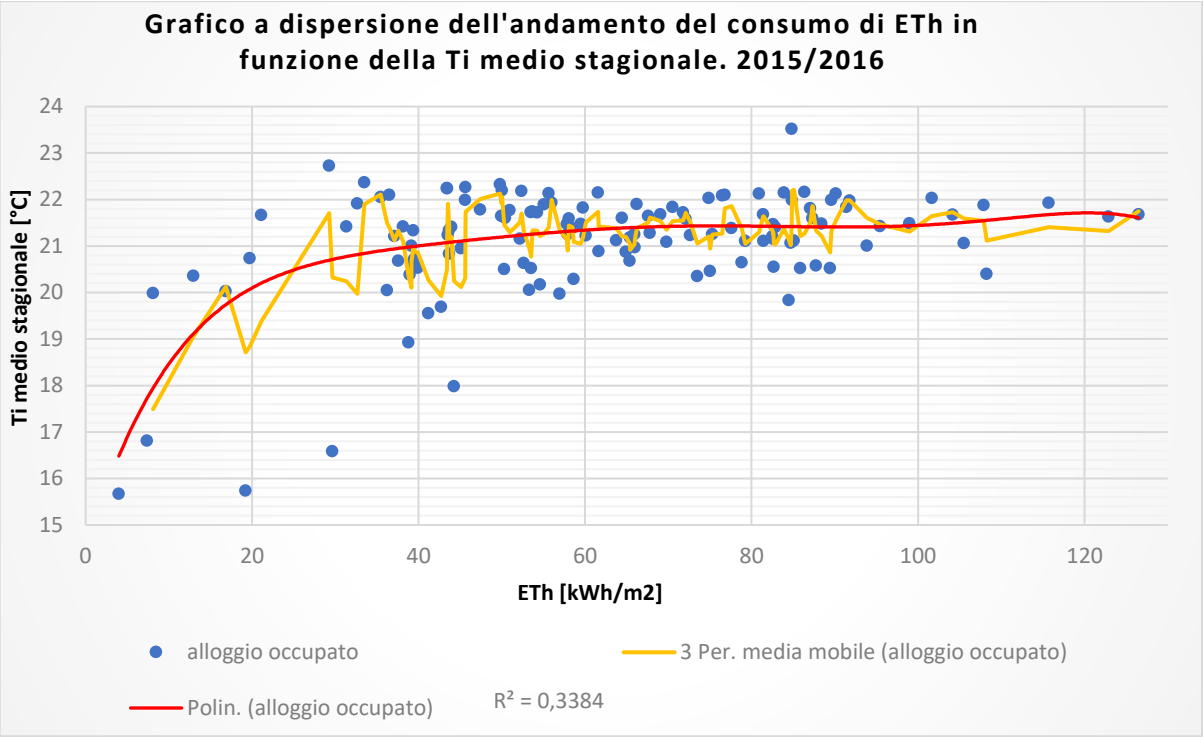


Figura 5.12. Grafico a dispersione dell'andamento del consumo di ETh in funzione della Ti medio stagionale. Stagione 2015/2016

Nei grafici riportati nelle Figure 5.12 e 5.13 ad ogni pallino corrisponde uno specifico alloggio. La spezzata arancione rappresenta la linea di tendenza espressa come media mobile. Questa line di tendenza permette di appianare le fluttuazioni dei dati per mostrare un andamento o una tendenza in modo più chiaro. La media mobile è costruita con un periodo pari a 3, ovvero ogni coordinata dei segmenti della spezzata è determinata effettuando la media fra tre successivi valori, preordinati secondo il consumo ETh crescente. Come chiaramente visibile la linea di tendenza a media mobile ha enormi fluttuazioni lungo l'asse della temperatura per entrambe le stagioni. La curva color rosso rappresenta invece la linea di tendenza a funzione polinomiale di sesto grado. Può essere vista anche come la linea di tendenza della media mobile. Si è preferito approssimare il set di dati secondo tale tipo di funzione in quanto ad essa è associata il valore R^2 maggiore. Il valore R^2, che può variare da 0 a 1, indica il grado di corrispondenza dei punti stimati della linea di tendenza con i valori effettivi: è tanto più grande quanto maggiore è la precisione della linea di tendenza. Il valore R^2 è riportato nella legenda ed è in entrambi i casi molto basso. Ciò è indice del fatto che la linea di tendenza non rappresenta un buon adattamento al set di dati, a causa alla grande dispersione dei punti già individuata. La linea di tendenza a funzione polinomiale permette di individuare facilmente la correlazione tra la temperatura rilevata nei diversi alloggi e il reale consumo di energia termica per riscaldamento.

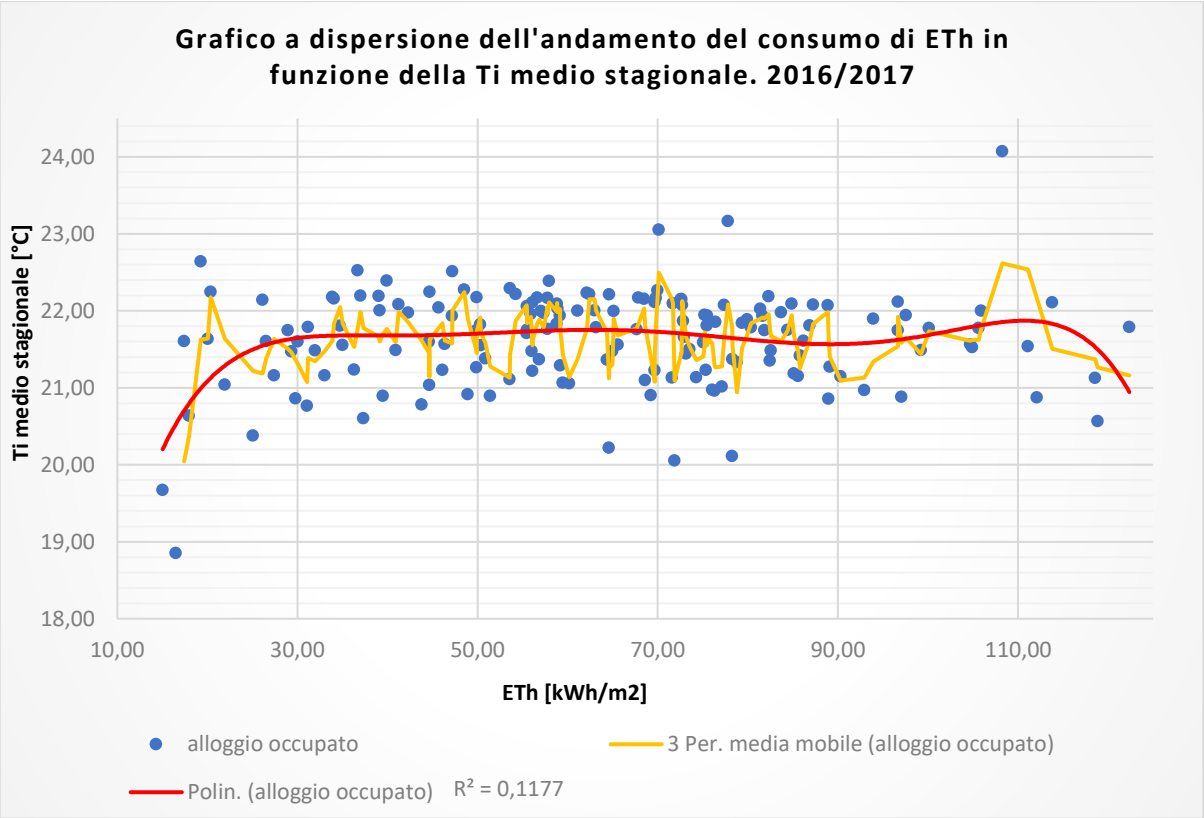


Figura 5.13. Grafico a dispersione dell'andamento del consumo di ETh in funzione della Ti medio stagionale. Stagione 2016/2017

Salvo nel primo tratto, ovvero per valori di consumo inferiori a circa 50 kWh/m^2 per la stagione 2015/2016 e 30 kWh/m^2 per la stagione 2016/2017, le linee di tendenza non hanno un andamento crescente con all'aumentare del consumo ETh. Per valori di consumo superiori a circa 110 kWh/m^2 si vede in entrambi i grafici una diminuzione della temperatura medio stagionale mantenuta all'interno degli alloggi all'aumentare del consumo di energia termica ETh (kWh/m^2). Questa diminuzione è molto più pronunciata nella stagione 2016/2017. Nell'intervallo centrale, compreso fra i valori di Eth sopra riportati, il consumo di energia termica aumenta fino a circa quadruplicare per la stagione 2016/2017 e triplicare per l'altra stagione senza essere correlato ad un aumento della Ti medio stagionale mantenuta nei diversi alloggi.

Nella Figura 5.14. è rappresentata un'analisi in frequenza dei consumi di ETh in kWh/m^2 per le due stagioni analizzate. In entrambi i grafici è possibile notare come in corrispondenza di due diverse classi di consumo la frequenza assoluta presenti dei massimi relativi. Se non si fosse premesso quanto detto sulle comuni scelte progettuali e caratteristiche degli alloggi, questo fatto potrebbe far pensare che il set di valori è suddividibile in due differenti gruppi, riferiti ad unità immobiliari di tipologia, classe energetica, modalità di occupazione e conduzione molto differenti.

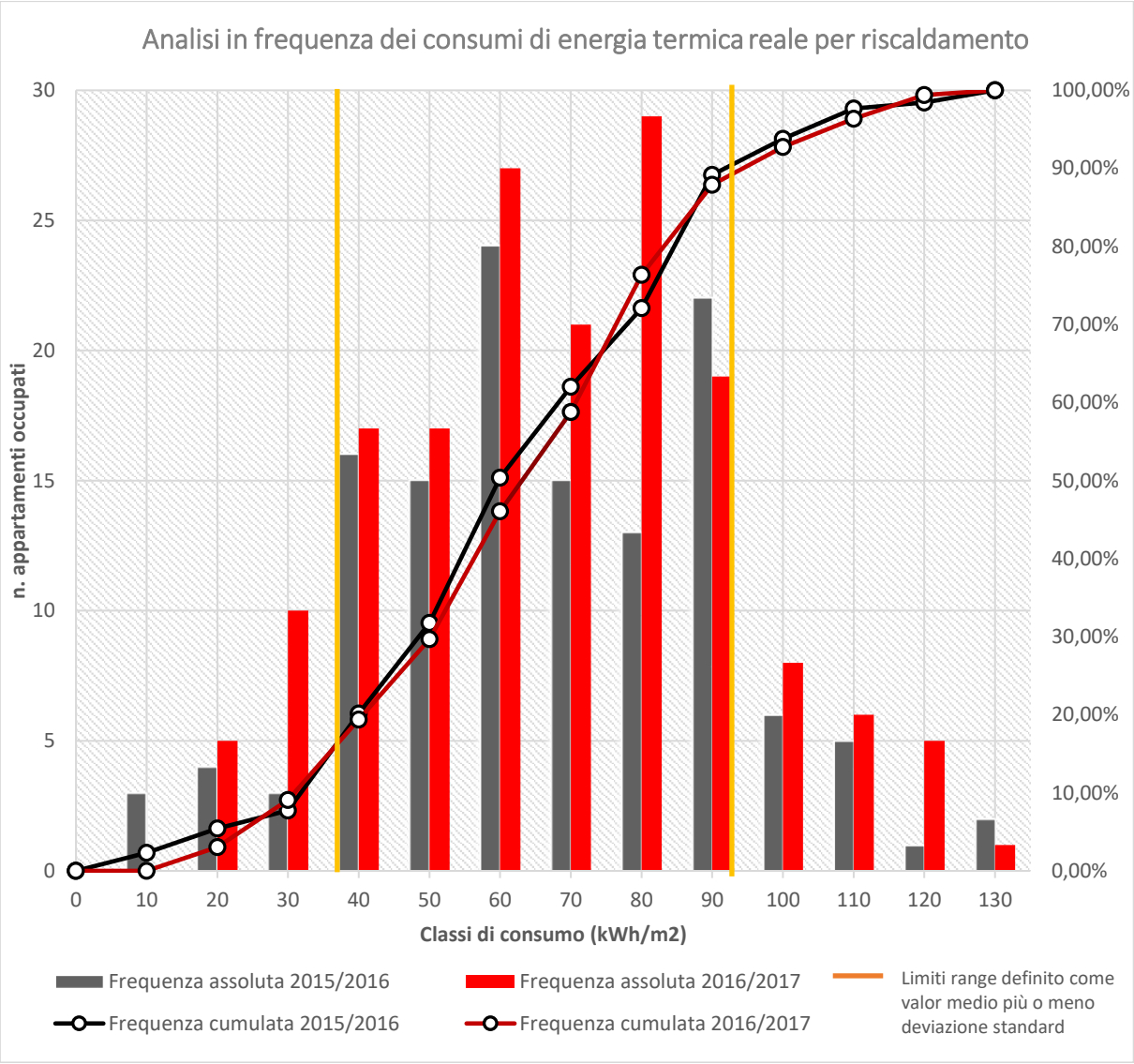


Figura 5.14. Analisi in frequenza dei consumi termici per riscaldamento ETh degli alloggi occupati.

Le due linee arancioni racchiudono gli alloggi il cui consumo di energia termica ETh è compreso nell'intervallo sopra definito come media più o meno lo scarto quadratico medio della popolazione di valori analizzati. I limiti di tale intervallo sono simili in entrambe le stagioni:

- Per la stagione 2015/2016 sono 38 kWh/m^2 e 87 kWh/m^2;
- Per la stagione 2016/2017 sono 40 kWh/m^2 e 88 kWh/m^2.

Per la prima stagione il 71% degli alloggi è compreso nel range e per la seconda il 67%.

A partire dai dati raccolti per ogni unità immobiliare si sono ricavate le Tabelle 5.5, 5.6 le quali riportano, tramite raggruppamenti, l'analisi dei consumi di energia termica per i diversi edifici nelle due stagioni di riscaldamento analizzate.

Nelle tabelle 5.5 e 5.6 sono riportate le seguenti informazioni:

- Numero progressivo identificativo dell'edificio;
- Condominio di appartenenza dell'edifico;
- Numeri civici di riferimento per l'edificio;
- La percentuale di superficie occupata sul totale della superficie utile delle unità immobiliari per la stagione di riferimento;
- La media per l'edificio delle temperature interne medio stagionali degli alloggi;
- Il consumo di energia termica per riscaldamento ETh espresso in kWh/m^2 per l'edificio. Questo dato è stato calcolato come rapporto tra la somma dell'energia termica consumata dagli alloggi occupati dell'edificio in kWh e la somma delle superfici utili degli stessi alloggi.
- Il consumo di energia termica calcolato a progetto e riportato nella Tabella 3.6 del capitolo 3;
- La media dei valori di energia termica normalizzata ETh* (20°C) consumata dagli alloggi occupati dell'edificio;
- La media dei valori di energia termica normalizzata ETh* 2404 consumata dagli alloggi occupati dell'edificio;
- Il performance gap, ossia lo scarto percentuale, tra il valore di ETh e il valore normalizzato ETh* (20°C) per lo stesso edificio;
- Il performance gap tra il valore di consumo previsto a progetto e il valore normalizzato ETh* 2404 per lo stesso edificio. Questo valore indica lo scarto percentuale fra i valori di consumo attesi e i valori di consumo ETh reali misurati.

	Riepilogo riscaldamento per condominio stagione 2015/2016											
	Cond.	*Numero Civico*			% occupazione	Ti medio stagionale alloggi occupati	*ETh medio alloggi occupati*	*ETh progetto (alloggi occupati)*	*ETh* (20°C) (alloggi occupati)*	*ETh* 2404 (alloggi occupati)*	Performance gap tra ETh ed *ETh* (20°C)*	Performance gap tra Eth progetto ed ETh* 2404
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[-]	[-]
Ed. 1	A			1	34%	21,7	57,45	40,54	48,19	54,56	16%	26%
Ed. 2		2	2a	2b	38%	20,5	47,88	35,05	45,91	51,99	4%	33%
Ed. 3			3	3a	52%	21,4	65,70	37,24	57,76	65,40	12%	43%
Ed. 4	B			4	28%	20,3	59,78	46,26	50,82	57,74	15%	20%
Ed. 5				5	41%	21,4	72,42	50,39	56,33	63,77	22%	21%
Ed. 6			6a	6	30%	20,8	80,86	48,53	81,67	92,49	-1%	48%
Ed. 7	C		7	7a	42%	20,9	51,13	46,5	48,19	54,57	6%	15%
Ed. 8			8	8a	19%	21,6	71,95	45,73	63,53	71,93	12%	36%
Ed. 9	D		9	9a	0%	-	-	53,9	-	-	-	-
Ed. 10	E			10	27%	21,6	74,73	46,73	68,48	77,53	8%	40%
Ed. 11				11	34%	19,9	67,24	49,26	63,53	71,95	6%	32%
Ed. 12				12	32%	21,2	69,08	46,25	62,79	71,10	9%	35%
Ed. 13		18	18	13	0%	-	-	56,01	-	-	-	-
Ed. 14	F		14a	14	17%	22,1	86,21	49,36	74,14	83,92	14%	41%
Ed. 15				22	8%	21,4	75,62	47,97	66,84	75,67	12%	37%
Ed. 16			24	24	42%	20,9	63,06	47,21	60,28	68,27	4%	31%
Ed. 17	G		28	28	61%	21,2	53,65	49,71	51,61	58,45	4%	15%
Ed. 18			28	28	32%	21,3	57,19	47,72	53,23	57,12	7%	16%

Tabella 5.5. Analisi dei consumi termici per riscaldamento medi per edificio degli appartamenti occupati nella stagione 2015/2016.

	Riepilogo riscaldamento per condominio stagione 2016/2017											
	Cond.	*Numero Civico*			% occupazione	Ti medio stagionale alloggi occupati	*ETh medio alloggi occupati*	*ETh progetto (alloggi occupati)*	*ETh* (20°C) (alloggi occupati)*	*ETh* 2404 (alloggi occupati)*	Performance gap tra ETh ed *ETh* (20°C)*	Performance gap tra Eth progetto ed ETh* 2404
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[-]	[-]
Ed. 1	A			1	43%	21,9	55,87	40,54	46,24	52,25	17%	22%
Ed. 2		2	2a	2b	48%	21,6	55,59	35,05	46,54	52,59	16%	33%
Ed. 3			3	3a	75%	21,9	55,59	37,24	49,65	56,11	11%	34%
Ed. 4	B			4	51%	21,7	77,73	46,26	65,84	74,40	15%	38%
Ed. 5				5	61%	21,8	55,92	50,39	47,06	53,18	16%	5%
Ed. 6			6a	6	30%	21,3	93,21	48,53	86,22	97,43	8%	50%
Ed. 7	C		7	7a	47%	21,6	55,03	46,5	48,76	55,09	11%	16%
Ed. 8			8	8a	19%	21,6	78,86	45,73	73,95	83,56	6%	45%
Ed. 9	D		9	9a	85%	21,6	50,70	53,9	44,90	50,74	11%	-6%
Ed. 10	E			10	44%	21,8	70,42	46,73	62,24	70,33	12%	34%
Ed. 11				11	44%	20,6	66,07	49,26	60,56	68,46	8%	28%
Ed. 12				12	36%	21,7	79,07	46,25	68,53	77,44	13%	40%
Ed. 13		18	18	13	0%	-	-	56,01	-	-	-	-
Ed. 14	F		14a	14	23%	22,1	90,29	49,36	78,41	88,61	13%	44%
Ed. 15				22	18%	21,5	86,48	47,97	83,03	93,82	4%	49%
Ed. 16			24	24	40%	21,2	64,50	47,21	60,75	68,65	6%	31%
Ed. 17	G		28	28	61%	21,6	54,82	49,71	51,98	58,74	5%	15%
Ed. 18			28	28	58%	21,9	60,06	47,72	54,25	61,30	10%	22%

Tabella 5.6. Analisi dei consumi termici per riscaldamento medi per edificio degli appartamenti occupati nella stagione 2016/2017.

I valori di consumo di energia termica per riscaldamento in kWh/m^2 degli edifici, varia in un intervallo che, seppur molto più ristretto rispetto a quello definito dai valori dei singoli alloggi, rimane eccessivamente ampio. L'intervallo è compreso tra 47,9 kWh/m^2 e 86,2 kWh/m^2 per la stagione 2015/2016 e 50,7 kWh/m^2 e 93,2 kWh/m^2 per la stagione 2016/2017. Il valore medio, simile per i due periodi, è pari a 65,9 kWh/m^2 per la prima stagione e 67,7 kWh/m^2 per la seconda ed è in entrambi i casi superiore di circa un 30% alla media dei valori

di consumo previsti a progetto per i diversi edifici.

Per il calcolo dei due performance gap si sono ricavati i valori di medi per ogni edificio di consumo normalizzato ETh*(20°C) ed ETh*2404. Per la determinazione di questi due ultimi valori non si è potuta adottare la stessa strategia utilizzata per il calcolo di ETh relativo all'edificio in quanto entrano in gioco i GG effettivi, diversi per ogni alloggio.

Il primo indice percentuale, ovvero il performance gap tra ETh ed ETh*(20°C) sottolinea l'incremento o la diminuzione di consumo che si dovrebbe in teoria registrare agendo sui set-point di regolazione della temperatura interna agli alloggi. In un solo caso questo indice assume un valore negativo e per il medesimo edificio la Ti medio stagionale media degli alloggi occupati è di 20,8°C. Ovvero nonostante la temperatura sia superiore a 20°C, il consumo medio reale è inferiore al valore normalizzato ETh*(20°C). In tutti gli altri casi l'indice assume valori positivi ma non sembra esistere, come già visto nelle figure 5.12 e 5.13, una correlazione diretta tra il valore di Ti medio stagionale per l'edificio e il relativo consumo di energia termica ETh.

L'indice più interessante è quello riportato nell'ultima colonna di destra delle Tabelle 5.5. e 5.6. Il performance gap per il confronto con i valori di progetto è stato calcolato utilizzando il valore di consumo normalizzato ETh*2404. Quest'ultimo permettere il confronto tra valori di consumo che non sono influenzati né dai valori di temperatura interna agli alloggi né dall'andamento della temperatura esterna. In un solo caso, condominio D nella stagione 2016/2017, risulta essere stato consumata meno energia termica di quanta prevista in fase di progetto. In tutti gli altri casi l'indice percentuale mostra un consumo reale notevolmente superiore rispetto a quello previsto. L'incremento di consumo rispetto a quanto previsto in fase di costruzione è in media pari ad un + 30% per entrambe le stagioni e raggiunge valori di picco di circa + 50%. Questi indici rilevano un'importante anomalia nelle prestazioni energetiche degli edifici. Viene infatti evidenziato un sostanziale divario fra l'efficienza energetica prevista e dichiarata in fase di progettazione e quella reale misurata tramite il sistema di BMS in fase di conduzione degli edifici.

Il divario misurato fra il reale consumo di energia termica e quello previsto in fase di progettazione può essere ricondotto a due generali cause:

- un inidoneo calcolo del fabbisogno energetico;
- malfunzionamenti e inadeguata conduzione degli impianti meccanici per la climatizzazione invernale.

Come visto nel capitolo 1 all'interno di questi due macro-gruppi possono essere specificati

più problemi, alcuni dei quali difficilmente escludibili.

Fra le possibili cause del performance gap appartenenti al gruppo delle non idonee valutazioni, effettuate in sede di calcolo, del fabbisogno termico per riscaldamento, si può pensare a:

- Carichi interni agli alloggi differenti rispetto a quelli stimati per via paracentrica a causa della mancata considerazione di profili di occupazione e/o di utilizzo di indici di affollamento inadeguati;
- Carichi solari reali differenti rispetto a quelli stimati a causa dell'effetto delle schermature mobili;
- Condizioni di occupazioni reali degli edifici differenti da quelle considerate nei calcoli. Essendo edifici di recente costruzione non sono ancora interamente occupati. Solo 6 edifici hanno raggiunto nella stagione 2016/2017 il 50% di occupazione della superficie destinata a residenziale (dati riportati nella Tabella 5.6). La loro media di occupazione è di solo 34% per la stagione 2015/2016 e 46% nella seconda stagione
- Prestazioni termiche in opera dei componenti edilizi dell'involucro opaco e trasparente differenti da quelle previste in sede di progettazione. Presenza di zone "difettose" nell'involucro causa di ponti termici e/o infiltrazioni non adeguatamente valutate o addirittura trascurate.
- Il metodo di calcolo quasi stazionario non permette un'adeguata valutazione della specifica realtà degli alloggi oggetto di studio.

Fra le cause del performance gap legate a malfunzionamenti, inadeguata conduzione degli impianti meccanici, comportamenti inadeguati degli occupanti, si può elencare:

- Difformità con quanto specificato nei progetti architettonici o impiantistici, modifiche progettuali in corso d'opera non accuratamente valutate o non riportate nei calcoli energetici;
- Infiltrazioni d'aria a causa della sovrappressione generata dall'impianto di ventilazione meccanica;
- Comportamenti imprevisti o sbagliati dell'utenza quali: apertura delle finestre al fine di effettuare ricambi d'aria nonostante la ventilazione sia garantita dagli impianti meccanici, manomissione

dei terminali di impianto di ventilazione meccanica, impostazione di set point di temperatura molto differenti da quelli previsti da legge.

- Errori dei dispositivi del sistema BEMS quali: misure errate dei contatori, problemi nel passaggio dati tra dispositivi meccanici ed elettronici, errori legati al time-step con il quale vengono misurate le grandezze, errori legati a ritardi nel passaggio dati tra i vari dispositivi o ancora legati alla sensibilità degli stessi strumenti di misura.

Al fine di poter escludere problemi legati all'involucro edilizio o ad elementi costruttivi sarebbe necessario eseguirei specifiche attività sperimentali in sito (blower door test, analisi termografiche, ecc.) volte a verificare le reali prestazioni in opera.

Si definisce il rendimento globale medio stagionale il rapporto tra il fabbisogno energetico dell'involucro stagionale (ETh per superficie utile) e il fabbisogno di energia primaria stagionale (EPh per superficie utile). Se si considera tale rendimento costante al variare di ETh è possibile risalire al fabbisogno di energia primaria con un rapido calcolo. Dividendo il consumo misurato nella stagione 2016/2017 per l'edificio 6, pari a 93,21 kWh/m^2, per il rendimento globale medio stagionale riportato nella relazione "ex-legge 10" pari a 210,33%, si ottiene un vapore di EPh pari a 44,31 kWh/m^2. Quest'ultimo valore permette di definire la classe energetica dell'edificio. Il valore così ricavato supera il limite massimo per la classe energetica A, pari a 29 kWh/m^2, definito dal DGR 8745. L'edificio 6 si collocherebbe quindi in classe energetica B e non nella classe energetica A come specificato nella relazione energetica.

In base ai dati di consumo misurati nella stagione 2016/2017 e il calcolo semplificato sopra specificato anche gli edifici 4, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 18 risultano in classe energetica B e non A (come specificato nei documenti redatti per la certificazione energetica).

Dal confronto fra colonne, relative alle due diverse stagioni, dei consumi di energia termica normalizzati ETh*2404 si ricava inoltre un'indicazione dell'andamento dei consumi nel tempo dei vari edifici. Questo valore può ritenersi non influenzato dalle diverse temperature medie stagionali esterne ed interne. Per gli edifici 2, 7, 16, 17 il consumo è rimasto pressoché invariato. Per sette edifici è stato registrato un incremento dei consumi nella stagione 2016/2017 in media paria al 12%, con valori di picco di 24% per l'edificio 15 e 29% per l'edificio 4. Per i restanti 5 edifici è stato invece registrato un decremento dei consumi pari in media al 10%, con valori di picco di -14% per l'edificio 3 e -17% per l'edificio 5.

Al fine di indagare le cause dei valori anomali di ETh verificate a livello di edificio è

possibile confrontare i valori di consumo, con le opportune normalizzazioni, fra le unità immobiliari classificate nella stessa tipologia come definita all'inizio del presente capitolo. Come specificato ogni tipologia edilizia dovrebbe essere caratterizzata da uno specifico fabbisogno di energia termica. Il fabbisogno specifico per la categoria può essere calcolato come media dei consumi di energia termica degli alloggi in essa rientranti. Ogni alloggio rientrante all'interno della stessa tipologia dovrebbe avere consumo di ETh normalizzato uguale, a meno di un scarto ragionevole, al consumo specifico per la categoria. Si può in questo modo indagare se la causa dell'incremento del valor medio di consumo reale per l'edificio è dovuto a determinate tipologie di unità immobiliari, che per la loro posizione o per le caratteristiche che le contraddistingue hanno valori specifici di consumo simili fra loro e nettamente superiori al consumo medio delle altre tipologie, o se il problema è dovuto a singoli alloggi che causano dispersione dei dati anche all'interno della stessa categoria. Di seguito sono riportati gli istogrammi dei valori di consumo termico per riscaldamento normalizzato ETh*2404 misurati nelle due stagioni per ogni tipologia edilizia avente un numero significativo di alloggi occupati.

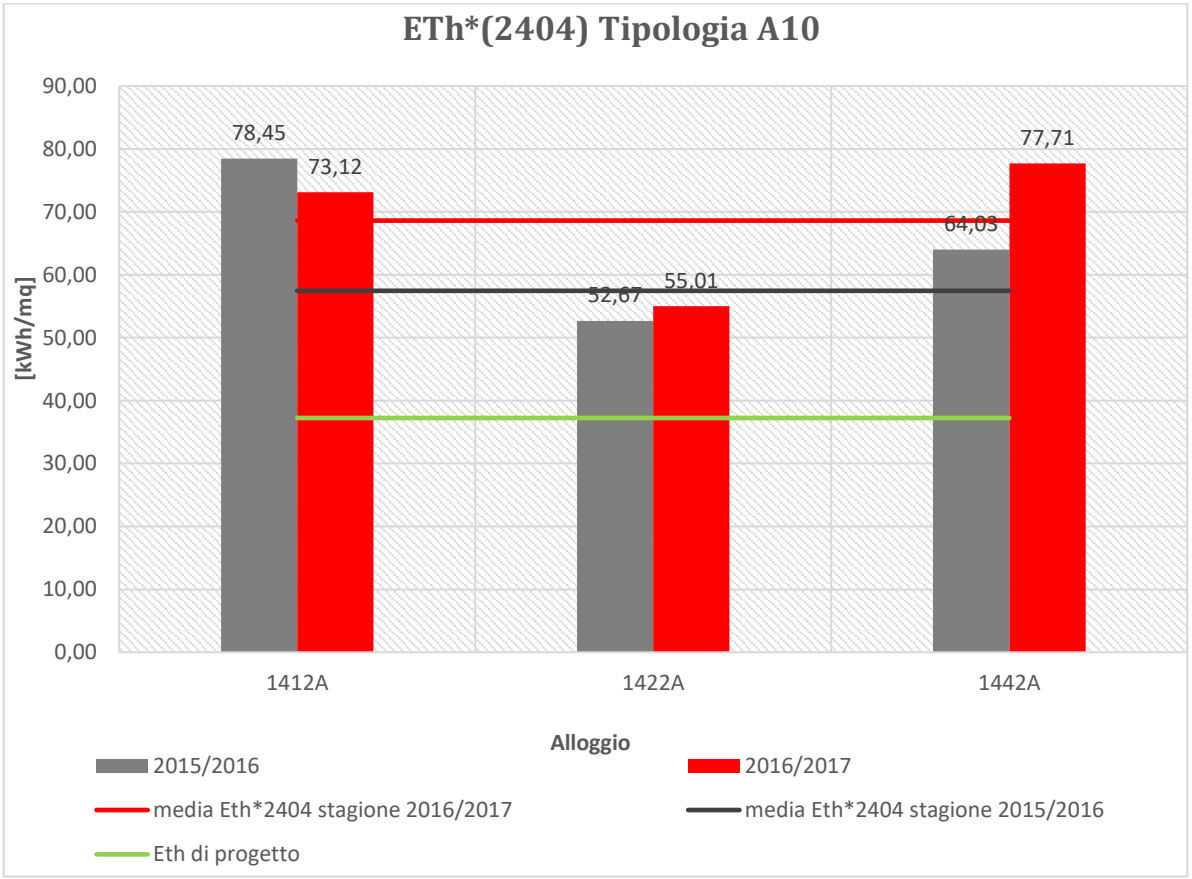


*Figura 5.15. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare A10.*

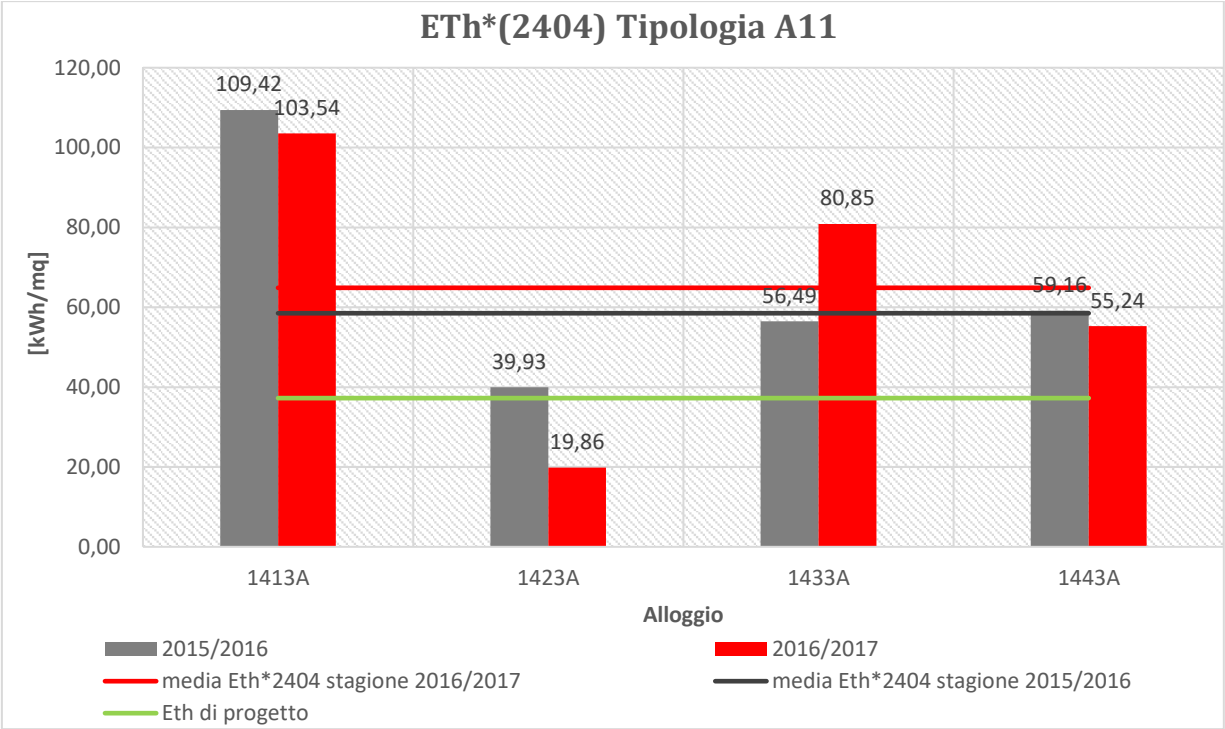


*Figura 5.16. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare A11.*

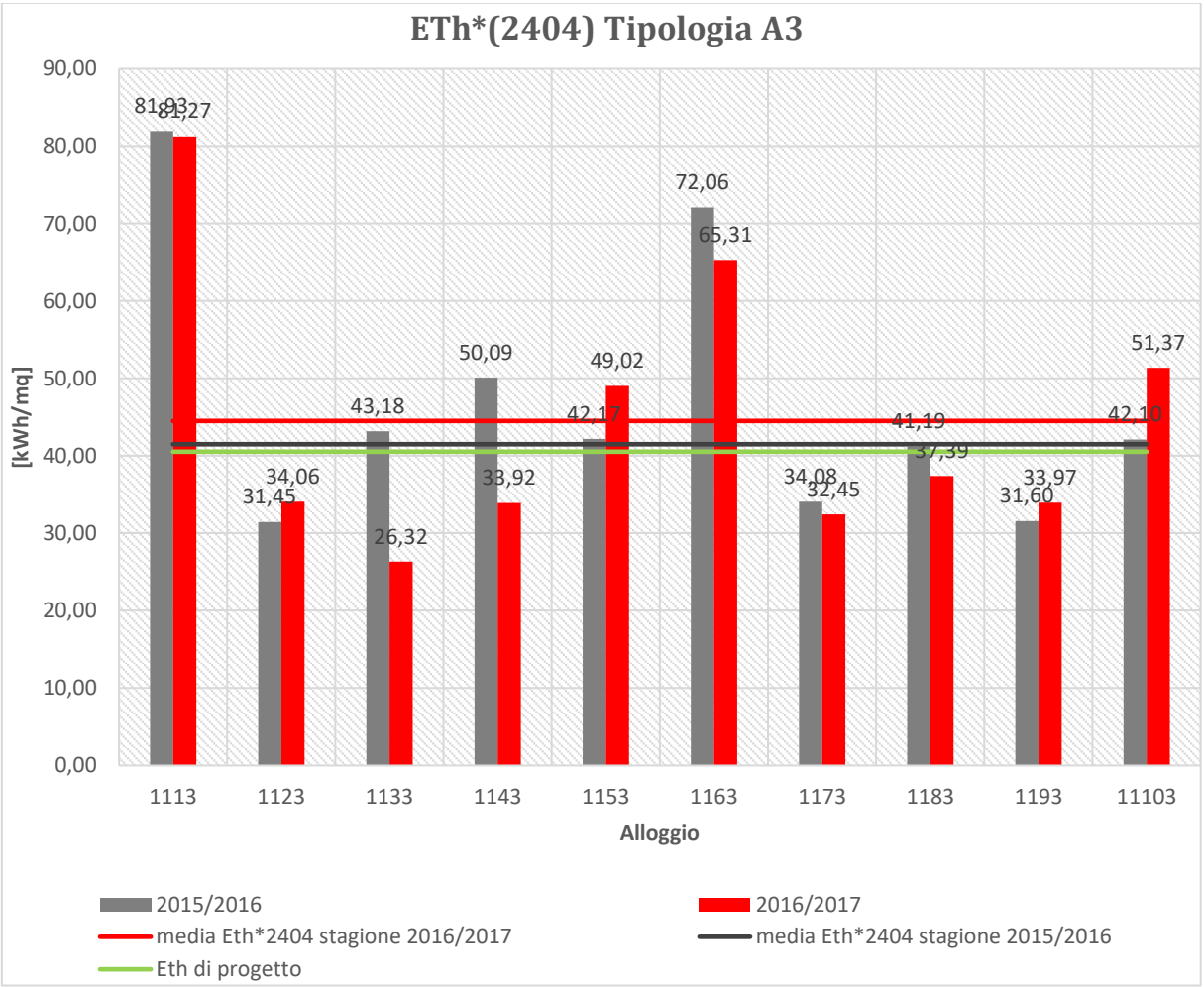


*Figura 5.17. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle*

due stagioni per la tipologia immobiliare A3.

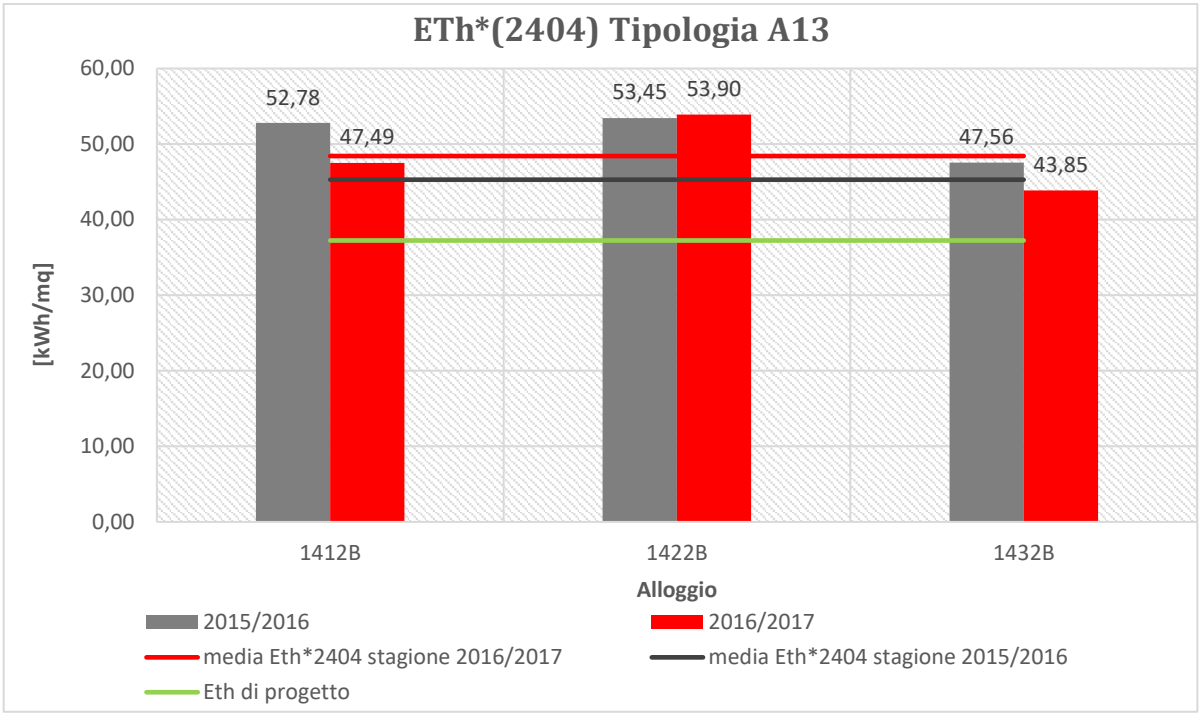


*Figura 5.18. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare A13.*

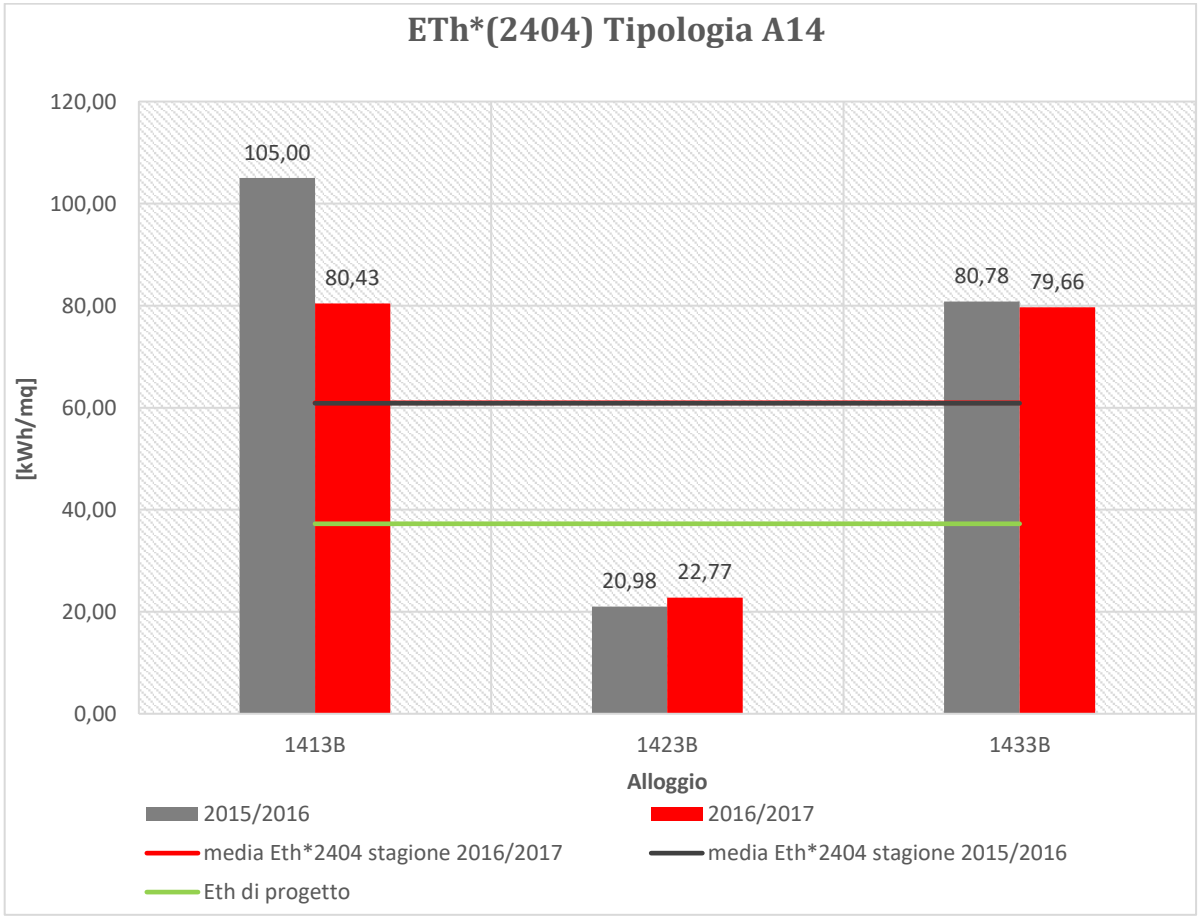


*Figura 5.19. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare A14.*

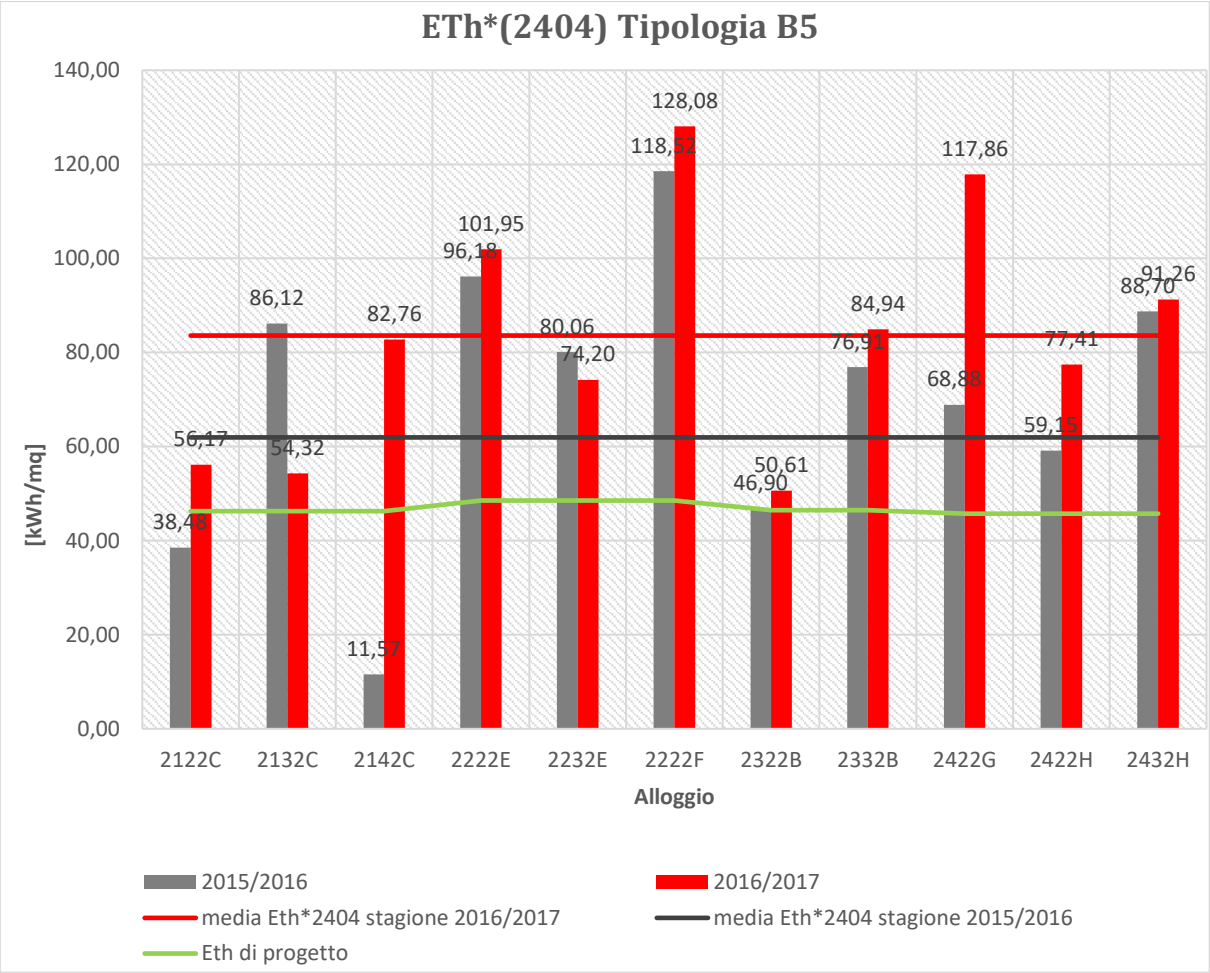


*Figura 5.20. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare B5.*

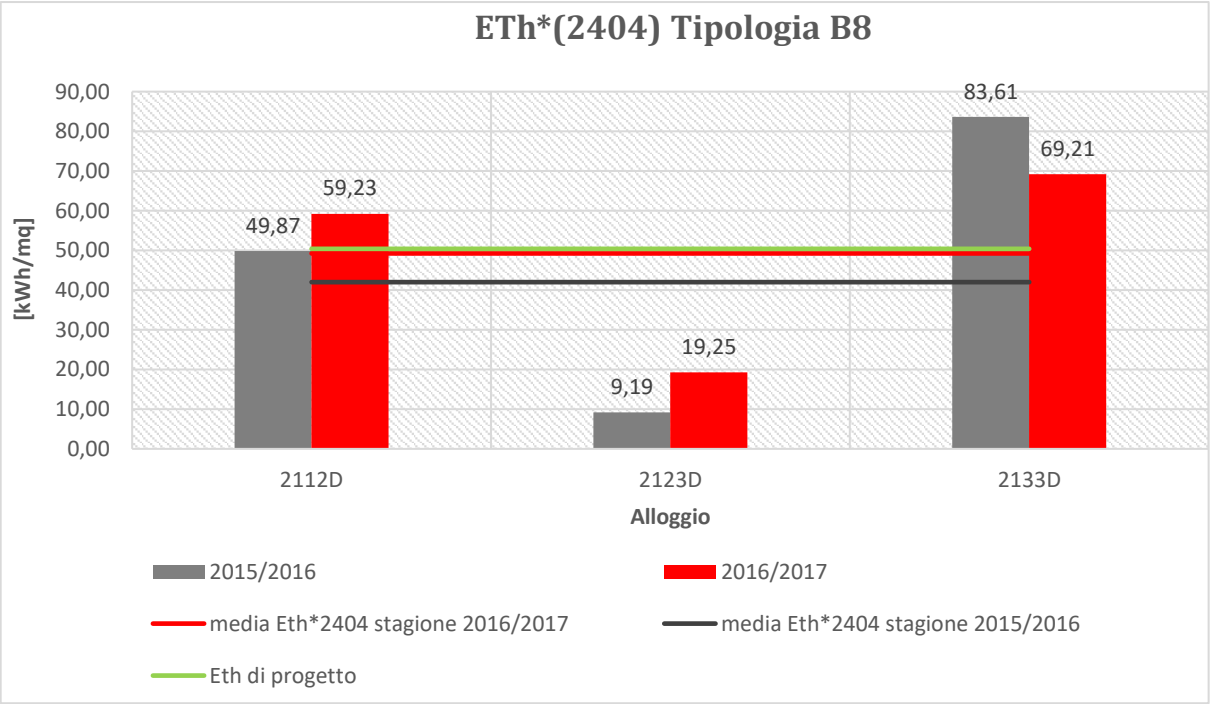


*Figura 5.21. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare B8.*

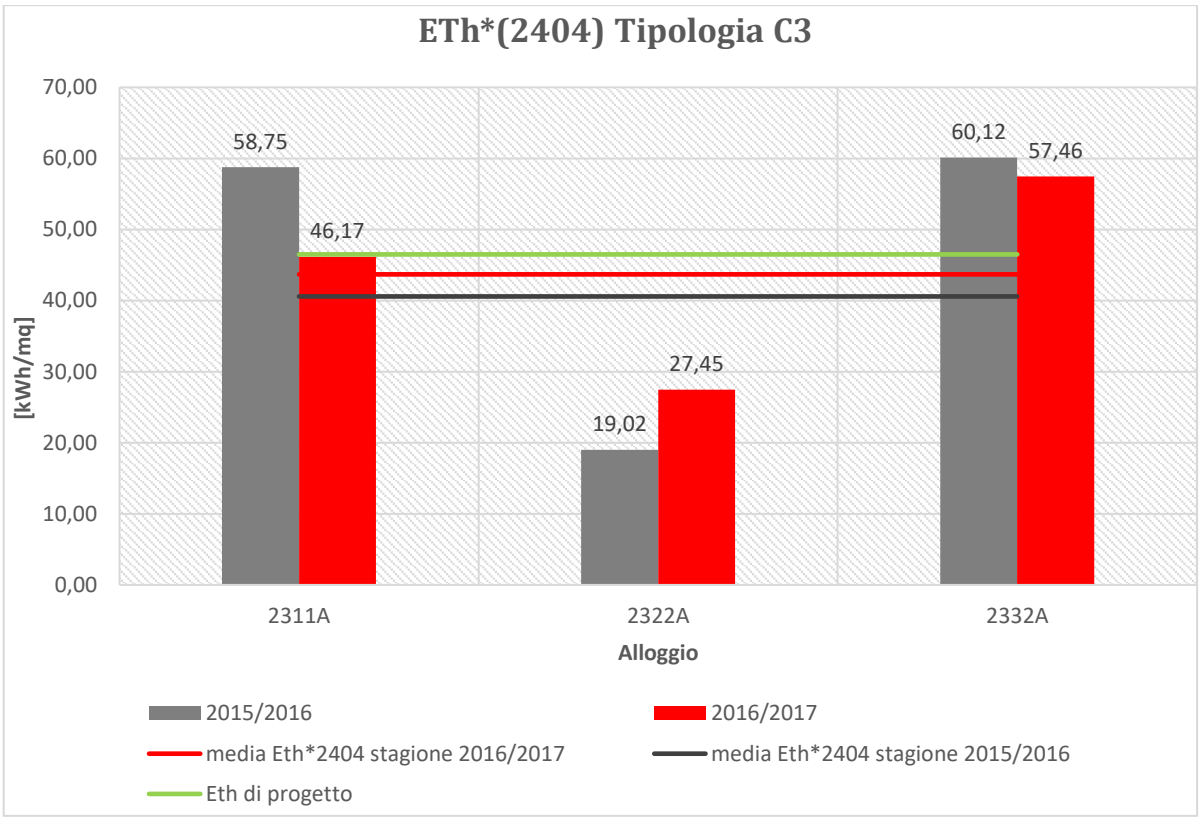


*Figura 5.22. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare C3.*

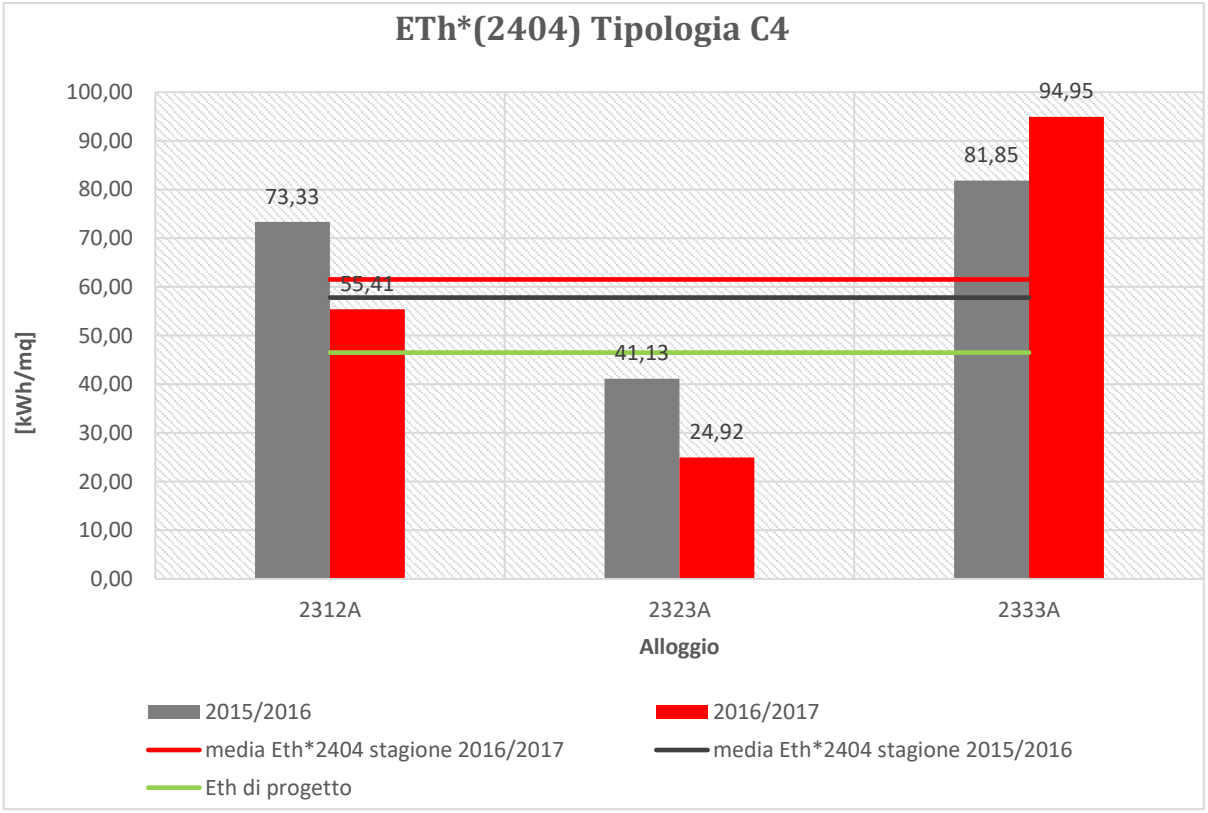


*Figura 5.23. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare C4.*

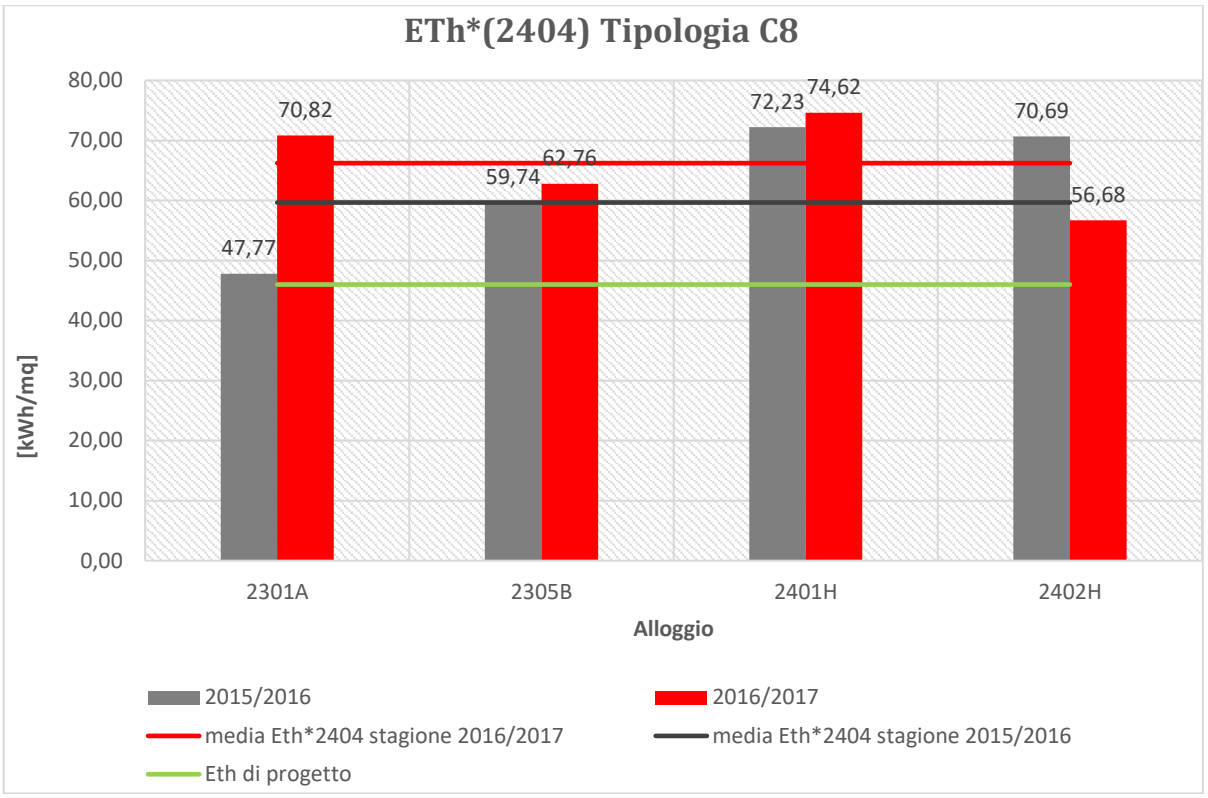


*Figura 5.24. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare C8.*

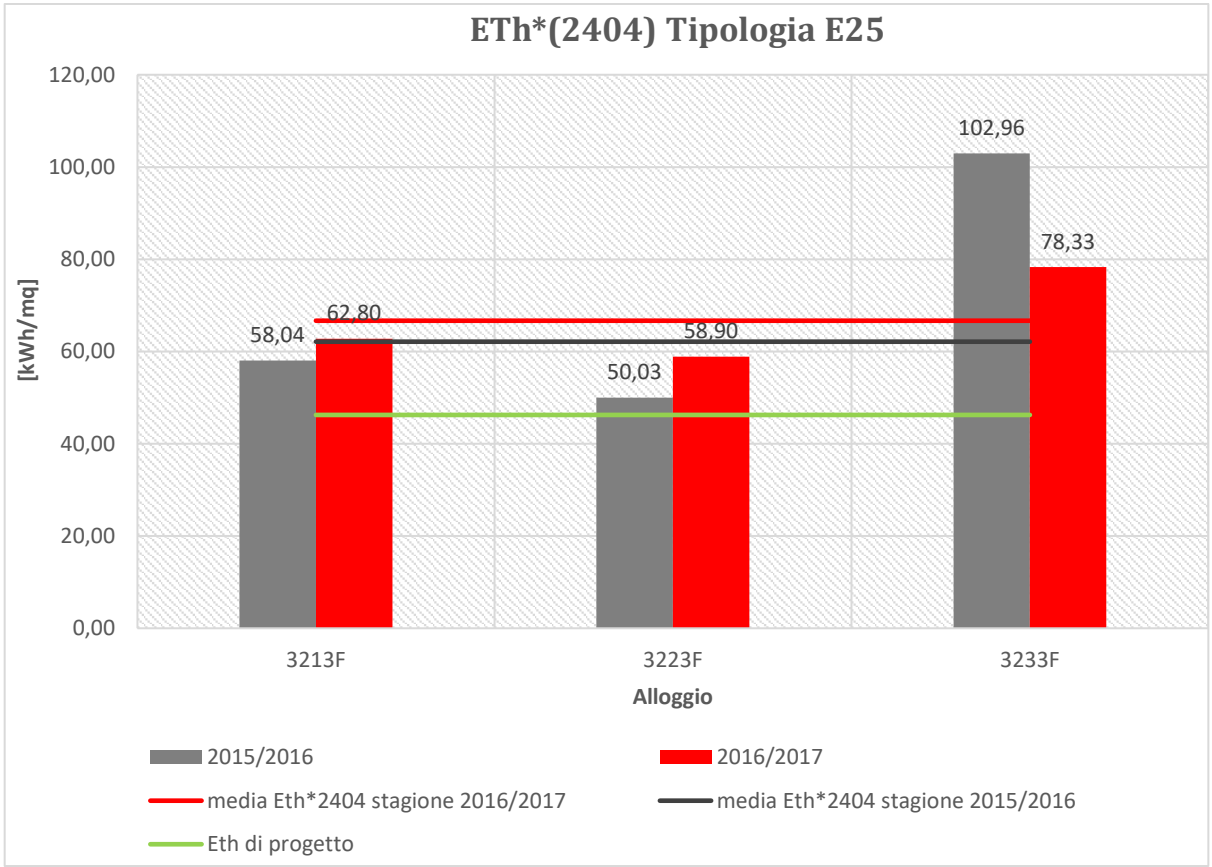


*Figura 5.25. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare E25.*

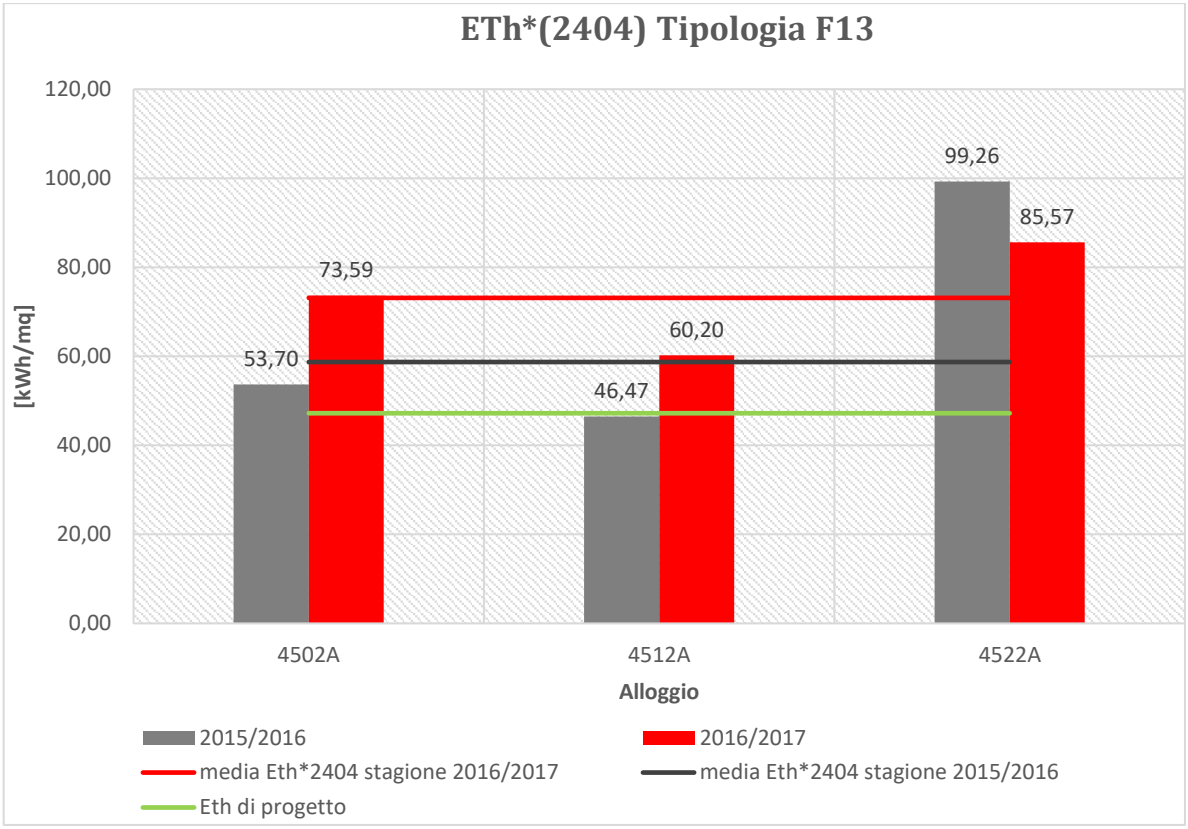


*Figura 5.26. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare F13.*

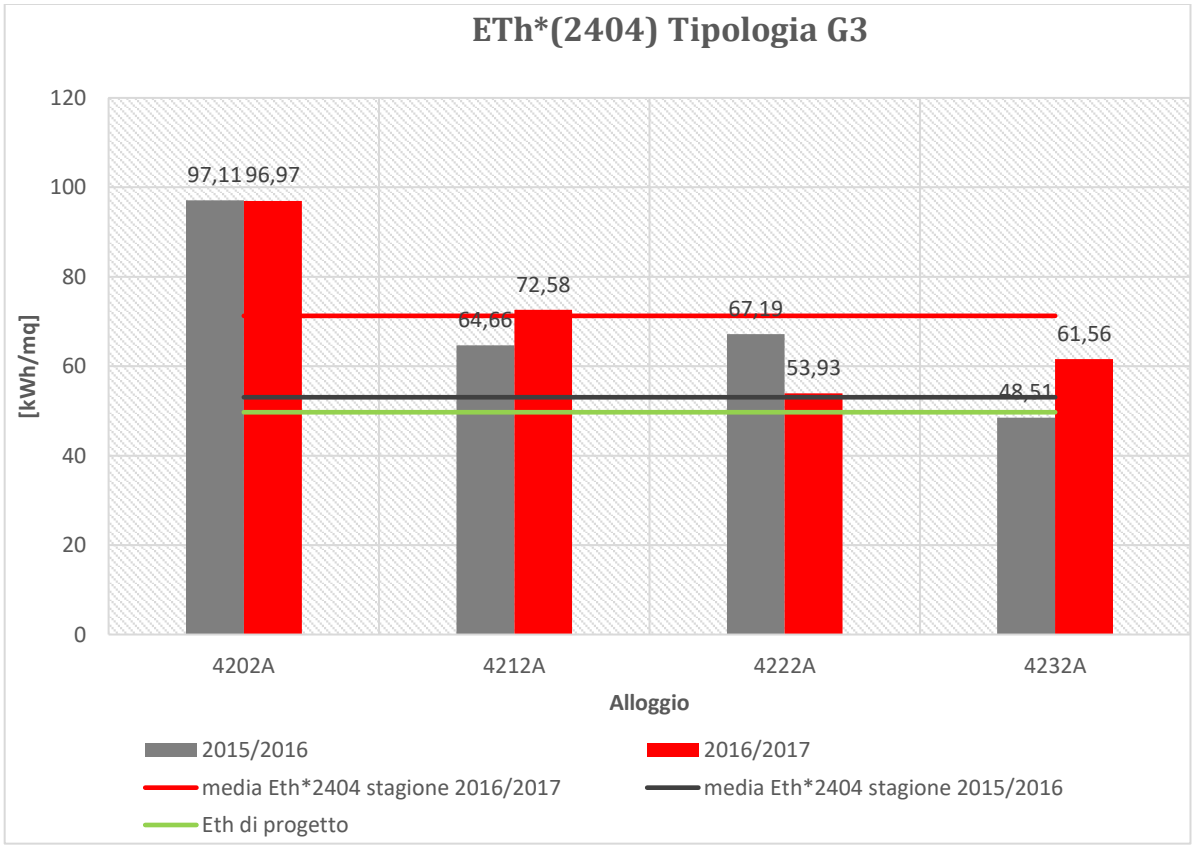


*Figura 5.27. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare G3.*

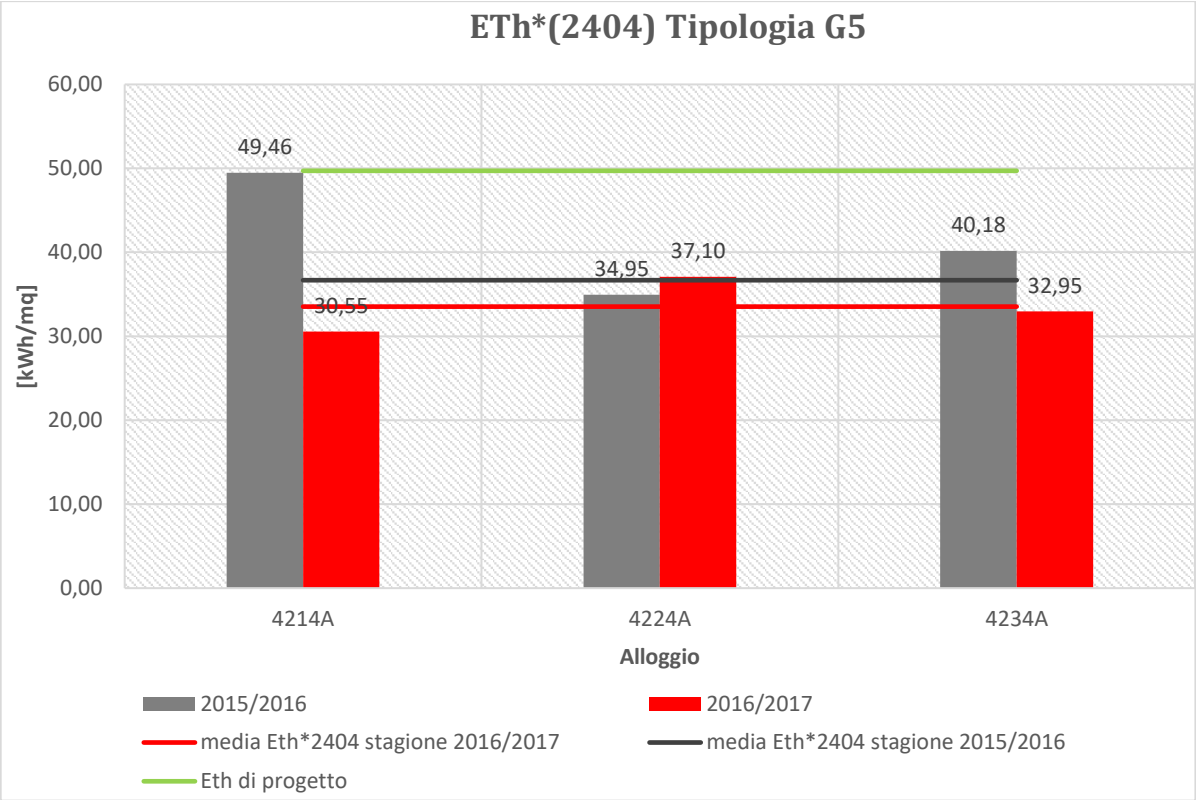


*Figura 5.28. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare G5.*

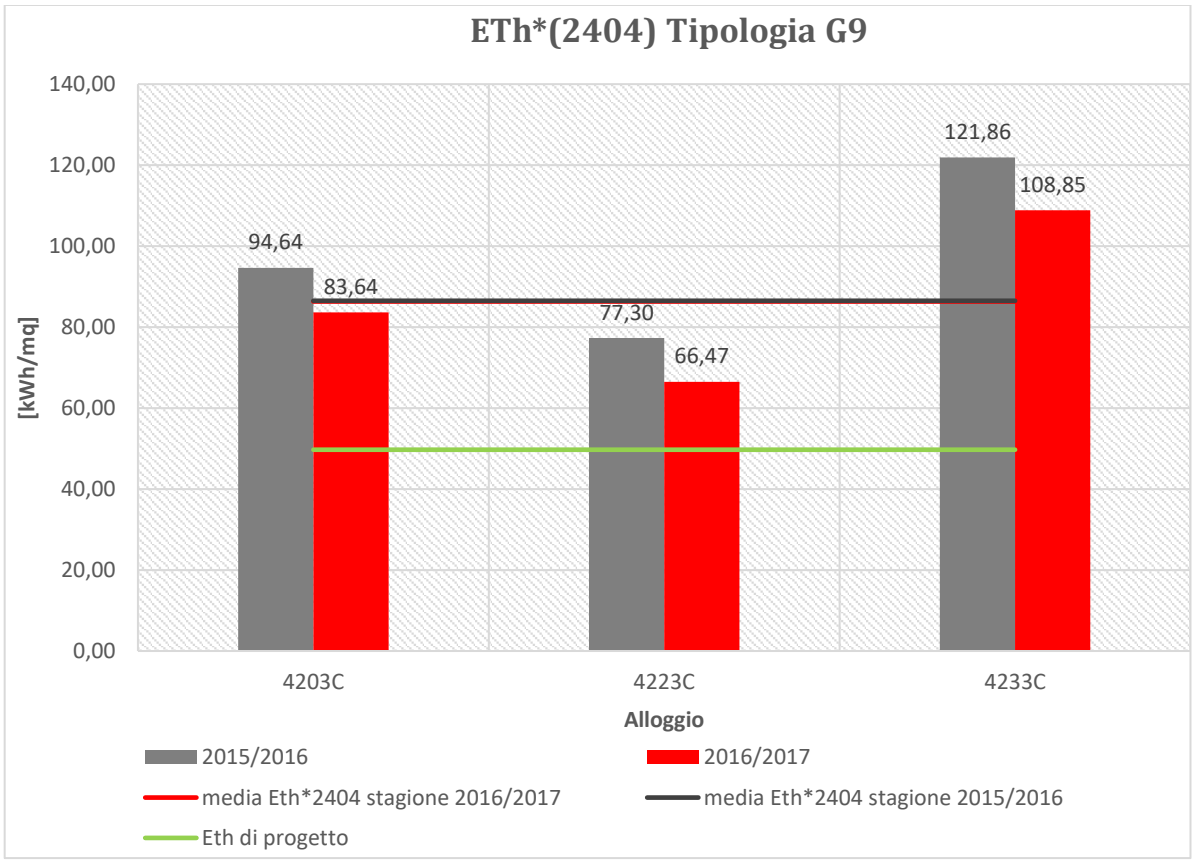


*Figura 5.29. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare G9.*

Sono state riportate le sole categorie per le quali sono disponibili i dati di almeno tre alloggi nelle due stagioni. La linea verde rappresenta il consumo di energia termica ETh (kWh/m^2) dichiarato nella relazione energetica per l'edificio a cui appartengono gli alloggi riportati in ogni grafico. Per sole tre tipologie edilizie fra quelle sopra esaminate, ovvero B8, G5 e C3, il consumo di energia termica previsto in fase di progetto per l'edificio è inferiore al valor medio di ETh*2404: in due casi lo scarto tra il valore di progetto e il valor medio per la tipologia di alloggi è molto piccolo, per la tipologia G5 risulta invece più accentuato.

Anche all'interno della stessa tipologia per la maggior parte dei casi si può vedere una notevole variazione dei consumi di energia termica registrati. Il confronto fra le due stagioni dello scarto quadratico medio dei valori di consumo ETh*2404 degli alloggi rientranti nella stessa categoria, rivela una miglior uniformità per i dati relativi alla stagione 2016/2017. La media, fra le diverse tipologie, dei valori di deviazioni standard di ETh*2404 calcolati per ogni gruppo di alloggi sopra riportato risulta pari a 18,4 kWh/m^2 per la stagione 2015/2016 e 15.9 kWh/m^2 per la stagione 2016/2017.

Nonostante ciò, anche nell'ultima stagione analizzata, i valori di consumo di alcuni alloggi sono nettamente inferiori o superiori al consumo degli altri appartamenti rientranti nella medesima categoria (vedere per esempio la tipologia A14 e il valore di consumo dell'unità immobiliare 1423B eccessivamente basso o la tipologia B5 e l'alloggio 2222F).

Un ottimo esempio di "comportamento" è quello mostrato dalla tipologia G5 per la stagione 2016/2017. I valori di consumo registrati per i tre alloggi sono infatti accettabilmente uniformi e il consumo registrato è inferiore a quello previsto per il loro condominio di appartenenza. Nell'ottica di un intervento pensato per ridurre i consumi si dovrebbe mirare al raggiungimento di questa situazione per tutte le tipologie edilizie.

Quest'analisi energetica ha messo in evidenza la presenza di tre diverse tipologie di anomalie nei consumi di energia termica degli alloggi. La prima è il performance gap misurato fra le reali prestazioni energetiche degli edifici e quelle specificate in fase progettuale. Il fabbisogno reale di energia termica della maggior parte degli alloggi risulta infatti superiore a quanto stimato in fase progettuale e a quanto dichiarato negli stessi attestati e relazioni energetiche.

La seconda riguarda la presenza di un consistente numero alloggi in cui sono stati rilevati consumi stagionali di energia termica per la climatizzazione invernale anomali, ovvero eccessivamente alti o al contrario bassi. Questi valori di consumo anomali sono sparsi fra tutti i condomini e fra molte tipologie edilizie. Il limite, oltre a cui un valore è definito anomalo, può essere calcolato come la media dei valori consumo più o meno la deviazione standard dell'intera

popolazione.

La terza è la notevole divergenza dei valori di consumo verificata per molti alloggi rientranti nella stessa tipologia edilizia.

5.2. Consumi di acqua

Nell'analisi dei consumi di acqua sanitaria sono stati considerati gli stessi alloggi riportati nella precedente indagine. Come nell'analisi dei consumi di energia termica per riscaldamento si sono escluse le unità immobiliari 4202C; 4212C, 4214C; 4501A nella stagione di riscaldamento 2016/2017 e 3213B nella stagione 2015/2016.

Le Tabelle 5.7 e 5.8 riportano l'analisi dei dati di consumo di ACS e AFS misurati per ogni alloggio occupato per i due periodi considerati. Da sinistra a destra sono riportate rispettivamente le seguenti informazioni:

- Dati identificativi dell'alloggio (numero identificativo, Condominio, Scala);
- Numero di persone presenti nell'unità immobiliare;
- Consumo di ACS in litri fratto il prodotto del numero di persone per giorni del periodo in cui si è effettuato il consumo. Il numero di giorni del periodo di analisi è pari a 184 per la stagione 2015/2016 e 183 per la stagione 2016/2017. Nel caso di alloggi occupati per un periodo di tempo compreso tra 80% e il 100% del periodo di analisi il numero di giorni considerati nei calcoli è pari a quello effettivo.
- Consumo di ACS in l/pers.*gg;
- Consumo totale di acqua potabile, calcolato come somma del contributo di ACS e del contributo di AFS ed espresso in l/pers.*gg;
- Consumo di ACS in kWh/m^2;
- Il fabbisogno standard di ACS calcolato secondo le indicazioni fornite dalla UNI/TS 11300-2. Al punto 7.1.2 della norma è riportata la formula per il calcolo del volume di acqua richiesto da edifici residenziali, espresso in litri/giorno. Il valore così trovato è diviso per il numero di occupanti dichiarato in ogni alloggio al fine di ricondurre il fabbisogno di acqua in l/pers.*gg.

  Il fabbisogno standard di ACS è calcolato come:

$$V_w = a \cdot S_u + b \quad (5.1)$$

Dove "a" e "b" sono parametri ricavabili da un apposito prospetto riportato nella norma e sono espressi rispettivamente in litri/(m^2*giorno) e litri/giorno. S_u è la superficie utili dell'abitazione espressa in metri quadri. Al variare di S_u la norma fornisce diversi valori per i parametri "a" e "b".

- Il performance gap, per ogni alloggio, tra il consumi reale di ACS e il fabbisogno di riferimento calcolato secondo le indicazioni fornite dalla UNI/TS 11300 parte 2.

				Consumo Acqua potabile					
Alloggio		*SCALA*	*n. occupanti*	*ACS*	*AFS*	*TOT acqua*	*ACS*	*Fabbisogno standard (UNI TS 11300-2)*	*Performance gap tra consumi reali e consumi standard calcolati*
N.I.		*N.C.*	*[pers.]*	*[L/pers.*gg]*	*[L/pers.*gg]*	*[L/pers.*gg]*	*[kWh/mq]*	*[L/pers.*gg]*	*[%]*
A		1113	2	88,13	56,85	144,97	23,45	46,37	90,0%
A		1121	4	61,79	72,39	134,18	20,10	32,11	92,5%
A		1123	3	91,96	29,13	121,09	36,71	30,91	197,5%
A		1132	4	138,10	29,12	167,21	59,93	26,36	423,9%
A		1133	1	363,42	268,42	631,85	48,36	92,74	291,9%
A		1143	1	335,00	101,96	436,96	44,57	92,74	261,2%
A		1153	1	0,00	12,39	12,39	0,00	92,74	-100,0%
A		1163	2	87,69	44,35	132,04	23,34	46,37	89,1%
A		1173	2	42,66	33,15	75,82	11,35	46,37	-8,0%
A		1183	1	8,97	91,09	100,05	1,19	92,74	-90,3%
A		1193	2	31,88	42,45	74,32	8,48	46,37	-31,3%
A		11103	1	16,52	15,16	31,68	2,20	92,74	-82,2%
A		11121	2	32,25	97,18	129,43	4,25	64,19	-49,8%
A		1231A	2	105,65	40,38	146,03	22,17	53,89	96,0%

A		1242A	4	0,04	0,01	0,05	0,01	35,36	-99,9%
A		1211B	3	55,23	29,96	85,19	15,98	35,91	53,8%
A		1212B	2	79,21	32,17	111,39	16,61	53,92	46,9%
A		1221B	2	42,83	48,26	91,09	8,99	53,87	-20,5%
A		1222B	2	80,08	34,57	114,65	16,79	53,92	48,5%
A		1212C	3	59,96	56,50	116,47	15,98	40,21	49,1%
A		1213C	1	1,09	0,98	2,07	0,14	95,78	-98,9%
A		1223C	2	96,22	120,87	217,09	24,29	47,89	100,9%
A		1233C	2	36,30	45,27	81,58	9,16	47,89	-24,2%
A		1412A	4	60,99	20,03	81,02	26,95	26,05	134,1%
A		1413A	1	134,67	22,61	157,28	32,54	50,00	169,3%
A		1414A	4	47,89	30,07	77,96	17,93	29,10	64,6%
A		1422A	3	118,44	42,52	160,96	38,63	35,10	237,5%
A		1423A	1	0,05	35,92	35,98	0,01	50,00	-99,9%
A		1433A	2	18,59	10,33	28,91	8,98	25,00	-25,7%
A		1441A	2	38,13	17,77	55,90	6,60	61,44	-37,9%
A		1442A	2	36,25	33,21	69,46	8,01	52,11	-30,4%
A		1443A	1	59,08	60,76	119,84	14,27	50,00	18,2%
A		1444A	3	32,64	66,30	98,95	9,17	38,80	-15,9%
A		1412B	3	54,35	38,17	92,52	20,64	31,86	70,6%
A		1413B	1	52,99	48,80	101,79	11,68	50,00	6,0%
A		1422B	2	92,20	110,76	202,96	23,35	47,79	92,9%
A		1423B	1	47,12	46,74	93,86	10,39	50,00	-5,8%
A		1432B	2	64,40	50,57	114,97	16,31	47,79	34,7%
A		1433B	1	44,89	69,46	114,35	9,90	50,00	-10,2%
B		2103C	4	16,74	14,92	31,66	5,64	31,31	-46,5%
B		2111C	2	25,18	12,38	37,56	4,16	59,12	-57,4%
B		2122C	2	36,77	29,62	66,39	13,30	29,87	23,1%
B		2132C	3	57,39	46,21	103,61	31,31	19,74	190,8%
B		2142C	1	0,05	0,05	0,11	0,01	59,75	-99,9%
B		2111D	4	103,53	38,53	142,07	41,31	27,87	271,5%
B		2112D	1	181,09	170,98	352,07	41,24	50,00	262,2%
B		2123D	1	33,59	9,13	42,72	7,70	50,00	-32,8%
B		2131D	4	52,87	58,02	110,88	15,44	34,71	52,3%
B		2133D	1	51,25	185,11	236,36	11,75	50,00	2,5%
B		2134D	3	88,86	29,91	118,77	24,80	38,95	128,1%
B		2202E	1	52,19	26,80	78,99	2,94	158,47	-67,1%
B		2221E	2	69,27	29,62	98,89	14,23	54,64	26,8%
B		2222E	1	194,78	55,71	250,49	35,01	60,42	222,4%
B		2232E	1	48,64	18,32	66,96	8,80	59,75	-18,6%
B		2222F	4	14,25	8,34	22,60	10,35	14,84	-3,9%
B		2223F	1	215,43	60,43	275,87	22,94	106,72	101,9%
C		2301A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	132,01	-100,0%
C		2311A	3	79,22	43,37	122,59	26,98	34,13	132,1%
C		2312A	2	90,11	29,48	119,59	24,07	46,26	94,8%

C		2322A	2	79,54	35,22	114,76	21,25	46,26	71,9%
C		2323A	3	97,52	37,34	134,86	33,10	34,20	185,1%
C		2324A	2	49,46	52,23	101,68	10,95	52,03	-4,9%
C		2332A	2	6,77	5,38	12,15	1,80	46,32	-85,4%
C		2333A	2	63,59	48,18	111,77	14,40	51,28	24,0%
C		2305B	4	19,93	59,65	79,58	6,40	32,39	-38,5%
C		2322B	2	38,91	13,04	51,96	14,08	29,87	30,3%
C		2331B	5	23,00	22,35	45,35	11,29	22,54	2,0%
C		2332B	1	45,65	7,66	53,32	8,29	59,35	-23,1%
C		2422G	2	55,05	27,61	82,66	19,69	30,47	80,7%
C		2401H	1	210,60	354,24	564,84	18,79	120,27	75,1%
C		2402H	1	539,40	245,33	784,73	49,20	118,46	355,4%
C		2422H	2	43,21	69,81	113,02	15,37	30,74	40,5%
C		2432H	2	83,91	31,01	114,92	30,48	29,67	182,8%
E		3202A	1	165,54	85,00	250,54	16,33	112,30	47,4%
E		3212A	2	43,32	20,00	63,32	21,91	25,00	73,3%
E		3221A	1	41,58	50,87	92,45	3,29	130,92	-68,2%
E		3202B	1	26,63	19,11	45,74	2,14	122,08	-78,2%
E		3204B	1	24,35	11,59	35,94	1,61	141,01	-82,7%
E		3223B	2	35,65	5,38	41,03	10,27	43,09	-17,3%
E		3224B	1	6,25	1,36	7,61	0,76	97,91	-93,6%
E		3202F	2	81,88	85,24	167,12	23,81	42,46	92,8%
E		3213F	3	50,91	34,86	85,76	21,69	29,33	73,6%
E		3221F	2	66,14	32,45	98,59	14,46	52,46	26,1%
E		3223F	3	95,09	59,96	155,05	44,43	25,46	273,4%
E		3232F	4	73,02	18,56	91,58	33,23	25,56	185,6%
E		3233F	2	80,14	68,18	148,32	22,81	43,84	82,8%
E		3234F	1	60,98	27,50	88,48	8,36	91,10	-33,1%
F		4112A	2	105,73	72,66	178,40	30,37	43,25	144,5%
F		4122A	2	61,66	39,95	101,60	17,71	43,25	42,6%
F		4101B	4	99,05	24,42	123,46	27,67	35,87	176,1%
G		4201A	3	72,66	29,64	102,30	22,54	36,27	100,3%
G		4202A	2	31,69	36,93	68,61	8,50	41,06	-22,8%
G		4212A	1	65,60	45,05	110,65	10,35	74,90	-12,4%
G		4213A	5	35,58	28,21	63,78	18,55	21,64	64,4%
G		4214A	5	57,66	32,74	90,40	21,20	27,63	108,7%
G		4222A	2	55,03	99,43	154,46	17,36	37,45	46,9%
G		4223A	2	45,71	27,55	73,26	9,53	54,11	-15,5%
G		4224A	5	62,78	28,09	90,87	23,08	27,63	127,2%
G		4232A	2	7,58	14,02	21,60	2,39	37,45	-79,8%
G		4233A	2	102,85	60,16	163,02	21,45	54,11	90,1%
G		4234A	1	10,33	30,60	40,92	0,76	138,15	-92,5%
G		4201C	2	55,63	64,32	119,95	16,12	42,68	30,3%
G		4203C	2	32,01	16,33	48,34	8,89	45,20	-29,2%
G		4211C	3	48,51	33,39	81,90	14,52	37,14	30,6%

G		4212C	2	76,96	52,50	129,46	22,52	42,06	83,0%
G		4214C	3	37,38	34,17	71,55	9,43	37,14	0,6%
G		4221C	4	57,46	27,68	85,14	22,93	27,86	106,3%
G		4222C	2	14,78	35,92	50,71	4,33	42,06	-64,9%
G		4223C	2	65,46	28,42	93,89	20,45	38,02	72,2%
G		4232C	1	89,57	36,30	125,87	13,10	84,13	6,5%
G		4233C	2	77,47	28,80	106,28	24,12	38,22	102,7%
G		4303	1	91,96	118,10	210,05	6,70	139,01	-33,8%
G		4304	1	396,09	365,11	761,20	29,45	137,01	189,1%
G		4306	2	50,27	20,49	70,76	14,16	44,56	12,8%
G		4307	2	80,49	53,70	134,18	24,31	40,08	100,8%
G		4321	5	56,28	37,65	93,93	20,55	27,77	102,7%
F		4412	1	22,55	16,47	39,02	3,25	86,13	-73,8%
F		4422	1	87,99	50,33	138,32	12,67	86,13	2,2%
F		4501A	1	0,05	0,27	0,33	0,00	118,17	-100,0%
F		4502A	1	277,01	662,28	939,29	36,33	93,56	196,1%
F		4504A	1	57,72	124,29	182,01	8,75	79,73	-27,6%
F		4512A	1	104,40	114,13	218,53	14,33	91,03	14,7%
F		4513A	1	132,12	330,54	462,66	19,95	80,15	64,8%
F		4515A	4	19,57	48,14	67,70	7,79	27,91	-29,9%
F		4522A	2	209,89	62,42	272,31	57,61	45,52	361,1%
F		4523A	1	260,49	112,50	372,99	39,34	80,15	225,0%
F		4524A	2	85,52	46,17	131,68	25,16	41,72	105,0%
F		4501B	1	0,39	0,46	0,86	0,02	135,46	-99,7%
F		4502B	1	13,64	57,34	70,98	1,38	110,15	-87,6%

Media	74,86	58,22	133,08	16,98	57,47	48%
Min	6,25	5,38	0,00	0,00	14,84	-100%
Max	539,40	662,28	939,29	59,93	158,47	424%

LEGENDA	
aaa	valore positivo/ incremento di consumo
aaa	valore negativo/decremento di consumo
	valore anomalo
	Performance gap anomalo

Tabella 5.7. Analisi dei valori di consumo di ACS e AFS per unità immobiliare nella stagione 2015/2016.

				Consumo Acqua potabile					
Alloggio		*SCALA*	*n. occupanti*	*ACS*	*AFS*	*TOT acqua*	*ACS*	*Fabbisogno standard (UNI TS 11300-2)*	*Performance gap tra consumi reali e consumi standard calcolati*
N.I.		*N.C.*	*[pers.]*	*[L/pers.*gg]*	*[L/pers.*gg]*	*[L/pers.*gg]*	*[kWh/mq]*	*[L/pers.*gg]*	*[%]*
A		1113	2	75,85	67,19	143,03	20,07	46,37	63,6%
A		1121	4	68,87	67,06	135,93	22,27	32,11	114,5%
A		1122	4	71,02	20,79	91,82	30,65	26,36	169,4%
A		1123	3	75,10	26,01	101,11	29,81	30,91	142,9%
A		1131	2	126,09	47,02	173,11	20,39	64,22	96,4%
A		1132	4	137,88	31,37	169,25	59,51	26,36	423,1%
A		1133	1	321,48	233,61	555,08	42,54	92,74	246,6%
A		1142	1	0,00	21,45	21,45	0,00	105,44	-100,0%
A		1143	1	659,07	108,14	767,21	87,22	92,74	610,7%
A		1153	1	0,00	25,14	25,14	0,00	92,74	-100,0%
A		1163	2	83,58	38,74	122,32	22,12	46,37	80,2%
A		1173	2	62,70	33,28	95,98	16,60	46,37	35,2%
A		1183	1	9,07	114,15	123,22	1,20	92,74	-90,2%
A		1193	2	32,21	39,92	72,13	8,53	46,37	-30,5%
A		11103	1	14,10	16,56	30,66	1,87	92,74	-84,8%
A		11121	2	50,66	98,96	149,62	8,20	64,19	-21,1%
A		1231A	2	91,45	29,43	120,87	19,08	53,89	69,7%
A		1241A	3	59,22	28,14	87,36	18,54	35,93	64,8%
A		1242A	4	50,96	49,32	100,27	14,43	35,36	44,1%
A		1211B	3	62,50	32,99	95,48	19,58	35,91	74,0%
A		1212B	2	73,72	26,80	100,52	15,37	53,92	36,7%
A		1221B	2	49,26	55,87	105,14	10,29	53,87	-8,5%
A		1222B	2	101,50	48,20	149,70	21,16	53,92	88,2%
A		1211C	4	50,19	39,15	89,34	14,10	35,58	41,1%
A		1212C	3	48,14	39,40	87,54	12,76	40,21	19,7%
A		1213C	1	3,44	4,26	7,70	0,43	95,78	-96,4%

A		1223C	2	99,43	132,32	231,75	24,96	47,89	107,6%
A		1233C	2	49,18	55,33	104,51	12,35	47,89	2,7%
A		1411A	4	64,32	29,59	93,91	21,67	31,19	106,2%
A		1412A	4	74,74	20,42	95,16	32,84	26,05	186,9%
A		1413A	1	136,56	32,73	169,29	32,81	50,00	173,1%
A		1414A	4	45,75	24,26	70,01	17,03	29,10	57,2%
A		1422A	3	120,02	40,27	160,29	38,93	35,10	242,0%
A		1423A	1	0,71	28,25	28,96	0,17	50,00	-98,6%
A		1424A	5	75,96	38,79	114,74	30,81	25,63	196,4%
A		1431A	3	80,73	32,53	113,26	20,85	40,96	97,1%
A		1433A	2	29,21	7,79	36,99	14,04	25,00	16,8%
A		1434A	4	56,75	56,07	112,81	19,48	30,78	84,4%
A		1441A	2	36,17	17,46	53,63	6,23	61,44	-41,1%
A		1442A	2	34,40	32,13	66,53	7,56	52,11	-34,0%
A		1443A	1	55,30	64,97	120,27	13,29	50,00	10,6%
A		1411B	6	25,45	21,54	46,99	12,68	21,00	21,2%
A		1412B	3	52,84	30,95	83,79	19,96	31,86	65,8%
A		1413B	1	70,27	50,27	120,55	15,41	50,00	40,5%
A		1422B	2	94,37	119,10	213,47	23,77	47,79	97,5%
A		1423B	1	57,10	63,61	120,71	12,52	50,00	14,2%
A		1432B	2	126,31	56,99	183,31	31,81	47,79	164,3%
A		1433B	1	75,68	76,12	151,80	16,60	50,00	51,4%
B		2102C	4	77,27	0,00	77,27	26,60	30,72	151,5%
B		2103C	4	29,85	19,54	49,39	10,00	31,31	-4,7%
B		2111C	2	83,58	67,08	150,66	15,20	59,12	41,4%
B		2122C	2	46,45	41,07	87,51	16,71	29,87	55,5%
B		2131C	2	108,03	62,98	171,01	21,15	56,24	92,1%
B		2132C	3	71,04	45,25	116,28	38,54	19,74	259,9%
B		2142C	1	124,86	76,17	201,04	22,47	59,75	109,0%
B		2143C	4	54,14	54,18	108,32	20,01	29,24	85,2%
B		2111D	4	93,80	57,01	150,81	37,22	27,87	236,6%
B		2112D	1	168,85	136,94	305,79	38,25	50,00	237,7%
B		2121D	6	57,89	17,16	75,05	22,90	23,13	150,3%
B		2122D	4	68,58	47,96	116,54	27,10	27,95	145,4%
B		2123D	1	41,26	14,04	55,30	9,41	50,00	-17,5%
B		2131D	4	62,46	49,06	111,52	18,14	34,71	80,0%
B		2133D	1	55,03	218,96	273,99	12,55	50,00	10,1%
B		2134D	3	93,88	27,32	121,20	26,06	38,95	141,0%
B		2202E	1	218,09	180,49	398,58	13,29	158,47	37,6%
B		2221E	2	95,08	41,50	136,58	19,43	54,64	74,0%
B		2222E	1	176,34	69,67	246,01	31,52	60,42	191,9%
B		2232E	1	38,47	36,23	74,70	6,92	59,75	-35,6%
B		2222F	4	14,58	8,03	22,61	10,53	14,84	-1,8%
B		2223F	1	163,17	99,51	262,68	17,28	106,72	52,9%
C		2301A	1	67,98	91,20	159,18	5,29	132,01	-48,5%

C		2311A	3	87,40	48,85	136,25	29,60	34,13	156,0%
C		2312A	2	117,27	26,69	143,96	31,15	46,26	153,5%
C		2322A	2	83,50	33,91	117,40	22,18	46,26	80,5%
C		2323A	3	86,52	27,72	114,24	29,21	34,20	153,0%
C		2324A	2	47,19	44,59	91,78	10,39	52,03	-9,3%
C		2331A	4	47,27	56,01	103,28	13,61	34,94	35,3%
C		2332A	2	13,14	18,42	31,56	3,48	46,32	-71,6%
C		2333A	2	68,09	46,37	114,45	15,34	51,28	32,8%
C		2305B	4	60,31	33,70	94,02	19,27	32,39	86,2%
C		2321B	2	63,50	14,40	77,90	13,26	53,87	17,9%
C		2322B	2	47,43	16,23	63,66	17,07	29,87	58,8%
C		2332B	1	28,03	8,03	36,07	5,06	59,35	-52,8%
C		2422G	2	46,53	21,04	67,57	16,55	30,47	52,7%
C		2401H	1	308,25	488,47	796,72	27,36	120,27	156,3%
C		2402H	1	180,11	105,25	285,36	16,34	118,46	52,0%
C		2422H	2	74,64	80,63	155,27	26,42	30,74	142,8%
C		2432H	2	77,05	35,41	112,46	27,83	29,67	159,6%
D		3111	1	320,11	35,30	355,41	45,09	88,35	262,3%
D		3112	1	164,59	15,19	179,78	23,19	88,32	86,4%
D		3113	1	224,92	151,15	376,07	31,70	88,27	154,8%
D		3114	1	243,50	23,22	266,72	34,31	88,29	175,8%
D		3115	1	48,63	12,46	61,09	6,85	88,32	-44,9%
D		3121	1	200,22	15,85	216,07	29,16	84,00	138,4%
D		3122	1	136,28	30,98	167,27	19,77	84,50	61,3%
D		3123	1	130,44	12,46	142,90	18,93	84,48	54,4%
D		3124	1	8,42	100,87	109,29	1,19	87,73	-90,4%
D		3125	1	94,92	22,62	117,54	13,86	83,65	13,5%
E		3202A	1	213,93	98,03	311,97	20,99	112,30	90,5%
E		3203A	1	65,25	108,47	173,72	9,47	84,50	-22,8%
E		3212A	2	239,45	46,50	285,96	120,49	25,00	857,8%
E		3221A	1	225,46	138,03	363,50	17,75	130,92	72,2%
E		3222A	2	137,32	36,37	173,69	25,63	58,09	136,4%
E		3202B	1	87,21	87,76	174,97	7,58	122,08	-28,6%
E		3203B	2	8,99	11,50	20,49	2,71	39,86	-77,4%
E		3204B	1	15,08	6,61	21,69	1,07	141,01	-89,3%
E		3213B	1	37,76	19,51	57,27	5,76	78,26	-51,8%
E		3223B	2	73,50	12,51	86,01	21,05	43,09	70,6%
E		3224B	1	83,50	8,74	92,24	10,12	97,91	-14,7%
E		3202F	2	123,91	39,07	162,98	35,83	42,46	191,8%
E		3205F	2	28,80	15,38	44,18	7,48	46,92	-38,6%
E		3213F	3	56,67	32,17	88,83	24,01	29,33	93,2%
E		3221F	2	60,44	29,45	89,89	13,14	52,46	15,2%
E		3223F	3	108,71	56,25	164,95	50,52	25,46	326,9%
E		3232F	4	66,37	22,51	88,88	30,04	25,56	159,6%
E		3233F	2	81,26	62,30	143,55	23,01	43,84	85,4%

E		3234F	1	149,40	44,54	193,93	20,37	91,10	64,0%
F		4111A	3	70,29	53,24	123,53	20,06	38,22	83,9%
F		4112A	2	110,05	77,65	187,70	31,44	43,25	154,5%
F		4122A	2	63,28	43,06	106,34	18,08	43,25	46,3%
F		4101B	4	130,48	38,73	169,21	36,26	35,87	263,8%
G		4201A	3	76,98	25,90	102,88	23,75	36,27	112,2%
G		4202A	2	67,65	48,01	115,66	20,00	41,06	64,7%
G		4203A	1	33,39	10,66	44,04	5,01	80,34	-58,4%
G		4212A	1	100,93	87,87	188,80	15,83	74,90	34,8%
G		4213A	5	31,10	21,93	53,04	16,13	21,64	43,7%
G		4214A	5	76,36	27,53	103,89	27,92	27,63	176,4%
G		4222A	2	46,42	68,39	114,81	14,56	37,45	24,0%
G		4223A	2	43,11	28,93	72,05	8,94	54,11	-20,3%
G		4224A	5	76,54	29,63	106,16	27,98	27,63	177,0%
G		4232A	2	57,32	0,00	57,32	17,98	37,45	53,1%
G		4233A	2	88,74	42,81	131,56	18,41	54,11	64,0%
G		4234A	1	9,89	23,33	33,22	0,72	138,15	-92,8%
G		4201C	2	60,98	46,58	107,57	17,58	42,68	42,9%
G		4203C	2	47,02	23,06	70,08	12,99	45,20	4,0%
G		4204C	3	22,30	15,90	38,20	6,64	37,14	-40,0%
G		4211C	3	78,16	41,28	119,44	23,27	37,14	110,4%
G		4221C	4	77,88	31,57	109,45	30,92	27,86	179,6%
G		4222C	2	16,01	40,79	56,80	4,66	42,06	-61,9%
G		4223C	2	65,03	28,42	93,44	20,21	38,02	71,0%
G		4232C	1	68,52	37,43	105,96	9,97	84,13	-18,5%
G		4233C	2	82,21	30,74	112,95	25,46	38,22	115,1%
G		4303	1	121,42	154,32	275,74	8,80	139,01	-12,7%
G		4304	1	476,34	375,79	852,13	35,22	137,01	247,7%
G		4306	2	15,38	24,07	39,45	4,31	44,56	-65,5%
G		4307	2	84,56	59,97	144,54	25,40	40,08	111,0%
G		4308	3	34,92	10,46	45,37	10,80	36,21	-3,6%
G		4309	3	109,31	74,13	183,44	31,86	37,68	190,1%
G		4311	5	92,27	23,25	115,52	33,47	27,79	232,0%
G		4313	3	50,13	25,17	75,30	14,61	37,68	33,0%
G		4321	5	70,91	37,11	108,02	25,75	27,77	155,4%
F		4403	1	6,28	13,39	19,67	0,59	115,37	-94,6%
F		4404	5	41,23	25,51	66,74	15,22	27,43	50,3%
F		4412	1	38,52	21,26	59,78	5,52	86,13	-55,3%
F		4502A	1	224,48	342,30	566,78	29,28	93,56	139,9%
F		4504A	1	61,53	109,62	171,15	9,27	79,73	-22,8%
F		4512A	1	113,83	113,83	227,65	15,54	91,03	25,0%
F		4513A	1	15,08	16,56	31,64	2,27	80,15	-81,2%
F		4514A	1	164,92	343,88	508,80	24,13	83,43	97,7%
F		4515A	4	21,56	39,39	60,94	8,53	27,91	-22,8%
F		4522A	2	158,11	63,66	221,78	43,16	45,52	247,4%

F		4523A	1	206,61	180,22	386,83	31,03	80,15	157,8%
F		4524A	2	110,16	48,25	158,42	32,24	41,72	164,1%
F		4501B	1	107,81	159,23	267,05	8,10	135,46	-20,4%
F		4502B	1	10,27	58,80	69,07	1,04	110,15	-90,7%

Media	87,84	56,85	144,69	19,70	57,09	73%
Min	2,79	4,26	7,70	0,00	14,84	-100%
Max	659,07	488,47	852,13	120,49	158,47	858%

LEGENDA	
aaa	valore positivo/ incremento di consumo
aaa	valore negativo/decremento di consumo
	valore anomalo
	Performance gap anomalo

Tabella 5.7. Analisi dei valori di consumo di ACS e AFS per unità immobiliare nella stagione 2015/2016.

Diversamente da quanto accade per l'energia termica, il consumo di acqua non dipende dalle caratteristiche costruttive e progettuali degli alloggi. Il valore di consumo normalizzato rispetto il numero di persone che usufruiscono dell'acqua nello stesso appartamento e rispetto il numero di giorni di riferimento per la determinazione del consumo è confrontabile nelle diverse stagioni e fra i diversi alloggi. Come accade per i dati relativi al consumo di energia termica per riscaldamento i valori di utilizzo di ACS e AFS in L/pers. gg sono affetti da enormi variazioni e presentano evidenti anomalie. Nella stagione 2015/2016 per cinque alloggi sono stati misurati valori di consumo sia di ACS che di AFS minori di 1 L/pers. gg; in due alloggi sono stati misurati valori di consumo di solo ACS inferiore a 1 L/pers. gg. A questi si aggiungono altri due alloggi in cui uno dei valori di consumo di acqua è poco superiore a 1 L/pers. gg. Questi valori di consumo, chiaramente anomali, sono evidenziati in arancione. Per la stagione 2016/2017 i valori di consumo inferiori a 1 L/pers. gg sono meno numerosi. In totale sono 5, relativi differenti alloggi. Fra questi, per gli alloggi 1153 e 1423A il valore di consumo di ACS si ripete anomalo in entrambe le stagioni.

Le suddette anomalie sono presumibilmente dovute a malfunzionamenti dei dispositivi meccanici di contabilizzazione del volume di acqua, o al passaggio di dati tra il dispositivo meccanico e lo stesso strumento elettronico che permette anche la contabilizzazione del calore. Tali valori (evidenziati in arancione nelle tabelle 5.7 e 5.8) saranno perciò esclusi dalle successive analisi.

Anche escludendo le anomalie sopra riportate rimane un ventaglio estremante vasto di valori. Si passa da valori minimi di ACS e AFS per la stagione 2015/2016 rispettivamente pari a 6,3

L/pers. gg e 5,4 L/pers. gg a valori massimi di 539,4 L/pers. gg e 662,4 L/pers. gg. Per la stagione 2016/2017 l'intervallo di valori è compreso per l'ACS tra 2,8 L/pers. gg e 659,1 L/pers. gg e per l'AFS tra 4,26 L/pers. gg e 488,5 L/pers. gg.

Per alloggi di classe energetica A il consumo di energia termica per riscaldamento dovrebbe essere paragonabile al consumo in kWh/m^2 di ACS. Dal confronto fra i due valori risulta che la media dei kWh/m^2 di ACS consumati è inferiore di oltre un terzo della media dei consumi di energia termica per riscaldamento in entrambe le stagioni.

La dispersione dei dati di consumo è evidente anche nelle Figure 5.30 e 5,31, dove sono riportati i dati di consumo di ogni alloggio occupato in frequenza assoluta e cumulativa per le due stagioni.

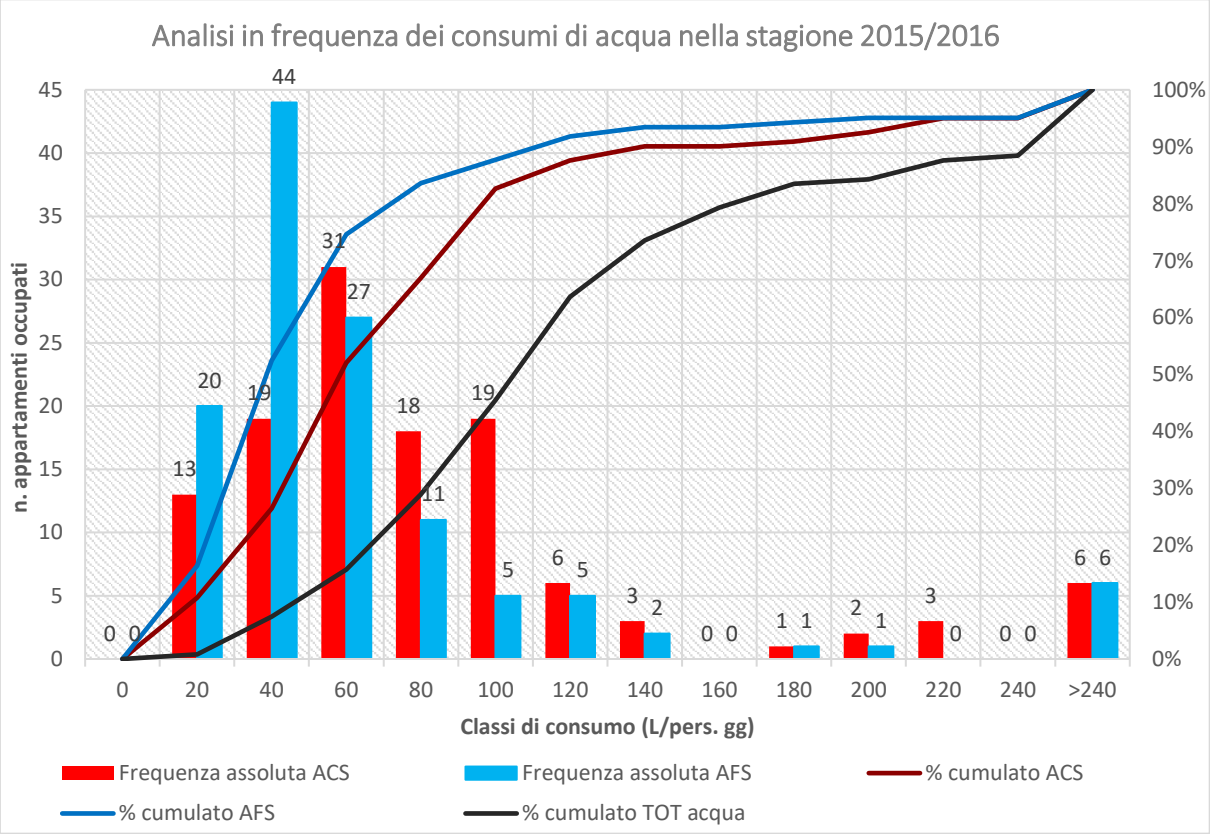


Figura 5.30. Analisi in frequenza dei dati di consumo di ACS e AFS per la stagione 2015/2016.

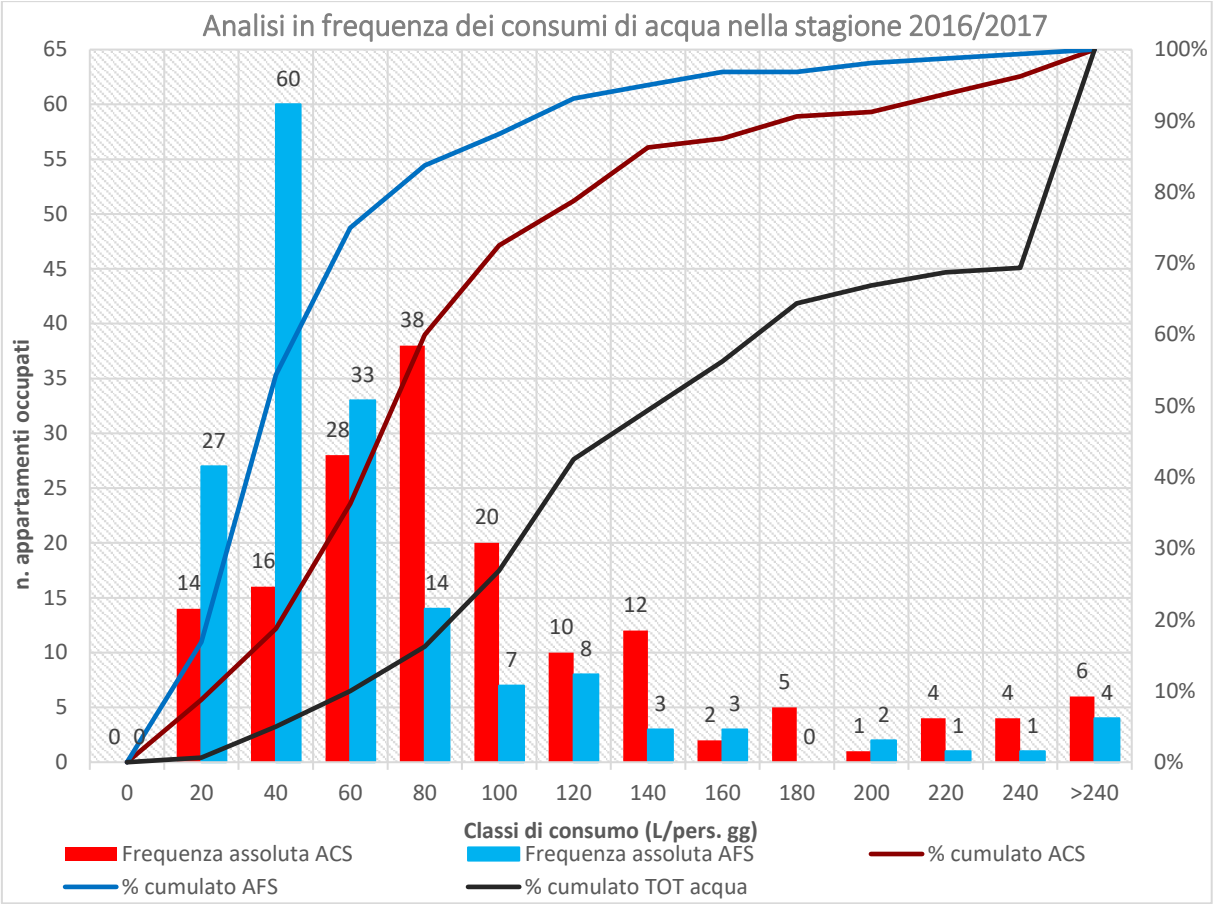


Figura 5.31. Analisi in frequenza dei dati di consumo di ACS e AFS per la stagione 2016/2017.

In entrambe le stagioni la frequenza assoluta dell'AFS presenta un picco nel numero di alloggi occupati (circa il 36% della totalità) con consumo compreso nell'intervallo 20 L/pers. gg e 40 L/pers. gg. Il picco della frequenza assoluta di ACS è in corrispondenza di una classe di consumo maggiore ed è meno marcato: nella stagione 2015/2016, con il 26% del totale degli alloggi occupati, la classe di consumo più popolata è quella compresa nell'intervallo 40 L/pers.*gg e 60 L/pers.*gg; nella stagione 2016/2017, con un massimo pari al 24% della totalità degli alloggi considerati, risulta essere presente un picco in corrispondenza dell'intervallo di consumo 60 - 80 L/pers.*gg .

Risultano essere anomali e necessitano di analisi più approfondite gli alloggi con consumo di ACS e/o AFS inferiore a 20 L/pers.*gg o superiore a 220 L/pers.*gg. Per tali alloggi è innanzitutto necessario effettuare le seguenti verifiche:

- Verificare del numero effettivo di occupanti presenti nell'unità immobiliare;
- Indagine ed interviste al fine di indagare le abitudini comportamentali degli inquilini e l'utilizzo riservato all'alloggio;

- Verifica del corretto funzionamento dei contatori di acqua.

Pur escludendo questi ultimi valori, dall'ultima colonna della Tabella 5.7, risulta che il 73% dei 102 alloggi considerati nella stagione 2015/2016 consuma in media il 98,2% in più del fabbisogno determinabile per mezzo dalla UNI/TS 11300-2. Per la stagione 2016/2017 l'80% delle unità immobiliari considerate riporta un incremento rispetto lo standard di norma pari in media al 103,7%.

La restante quota di alloggi risulta invece consumare in media il -33,3% del fabbisogno previsto da norma nella stagione 2015/2016 e il -28,9% nella stagione 2016/2017.

Pur escludendo i valori di consumo di ACS superiori a 220 L/pers.*gg, 28 alloggi nella prima stagione e 44 nella seconda risultano avere un consumo superiore al doppio del fabbisogno previsto da norma .

Le tabelle 5.9 e 5.10 mostrano un riepilogo dei dati di consumo di acqua tramite raggruppamenti per edificio. Le tabelle riportano:

- Dati anagrafici dell'edificio (numero edificio, numeri civici);
- Totale delle persone residenti negli alloggi occupati di ogni edificio;
- Consumo medio di acqua calda sanitaria (ACS) per l'edificio, calcolato come media dei valori di consumo di ACS misurati negli alloggi occupati dell'edificio (L/pers. gg);
- Consumo medio di acqua fredda sanitaria (AFS) per l'edificio, calcolato come media dei valori di consumo di AFS misurati negli alloggi occupati dell'edificio (L/pers. gg);
- Consumo medio di acqua sanitaria nell'edificio. Il dato è stato calcolato come somma dei valori medi di consumo di ACS e AFS per l'edificio (L/pers. gg).
- L'incidenza percentuale del consumo di ACS sul consumo totale di acqua;
- La media per l'edificio dei valori (calcolati secondo le indicazioni riportate nella norma UNI/TS 11300-2) di fabbisogno standard di acqua degli appartamenti.
- La variazione percentuale fra il consumo di ACS medio per l'edificio e il valore standard calcolato da norma.

Riepilogo ACS-AFS stagione 2015/2016										
Cond.	***Numero Civico***			**Numero occupanti**	**ACS**	**AFS**	**TOT Acqua**	**ACS/TOT**	**Fabbisogno calcolato con UNI/TS 11300-2**	**Performance gap tra valori ricavati da norma e dati reali**
[-]	[-]	[-]	[-]	[persone]	[L/pers.*gg]	[L/pers.*gg]	[L/pers.*gg]	[-]	[L/pers.*gg]	[-]
A			1	26,00	108,20	68,74	176,94	61%	61,75	75,22%
	2	2a	2b	23,00	69,44	51,00	120,43	58%	51,86	33,90%
		3	3a	33,00	60,18	44,00	104,18	58%	43,44	38,54%
B			4	12,00	34,02	25,78	59,80	57%	39,96	-14,86%
			5	14,00	85,20	81,95	167,14	51%	41,92	103,24%
		6a	6	10,00	99,09	33,20	132,30	75%	75,80	30,73%
C		7	7a	29,00	53,97	32,17	86,14	63%	48,89	10,39%
		8	8a	8,00	186,43	145,60	332,03	56%	65,92	182,81%
D		9	9a	0,00	-	-	-	-	-	-
E			10	4,00	83,48	51,96	135,43	62%	89,41	-6,63%
			11	5,00	23,22	12,03	35,25	66%	101,02	-77,01%
			12	17,00	72,59	46,68	119,27	61%	44,32	63,79%
	18	18	13	0,00	-	-	-	-	-	-
F		14a	14	8,00	88,81	45,67	134,49	66%	40,79	117,72%
			22	2,00	55,27	33,40	88,67	62%	86,13	-35,83%
		24	24	16,00	128,93	173,09	302,02	43%	82,14	56,96%
G		28	28	53,00	52,51	37,63	90,14	58%	46,90	11,96%
		28	28	11,00	135,02	119,01	254,03	53%	77,68	73,82%

Tabella 5.9. Riepilogo consumi dei valori di consumo di acqua raggruppati per edificio nella stagione 2015/2016

Riepilogo ACS-AFS stagione 2016/2017										
Cond.	*Numero Civico*			Numero occupanti	ACS	AFS	TOT Acqua	ACS/TOT	Fabbisogno calcolato con UNI/TS 11300-2	Performance gap tra valori ricavati da norma e dati reali
[-]	[-]	[-]	[-]	[persone]	[L/pers.*gg]	[L/pers.*gg]	[L/pers.*gg]	[-]	[L/pers.*gg]	[-]
A			1	33,00	127,69	61,84	189,53	67%	62,42	104,57%
	2	2a	2b	30,00	61,58	45,10	106,68	58%	49,18	25,21%
		3	3a	52,00	69,05	42,19	111,24	62%	40,29	71,38%
B			4	22,00	73,99	52,32	126,32	59%	39,50	87,32%
			5	24,00	80,22	71,06	151,28	53%	37,83	112,05%
		6a	6	10,00	117,62	72,57	190,19	62%	75,80	55,17%
C		7	7a	30,00	62,89	35,86	98,75	64%	50,22	25,23%
		8	8a	8,00	137,32	146,16	283,48	48%	65,92	108,31%
D		9	9a	10,00	157,20	42,01	199,21	79%	86,59	81,55%
E			10	7,00	176,28	85,48	261,77	67%	82,16	114,56%
			11	8,00	51,01	24,44	75,45	68%	87,04	-41,39%
			12	19,00	84,44	37,71	122,15	69%	44,64	89,16%
	18	18	13	0,00	-	-	-	-	-	-
F		14a	14	11,00	93,53	53,17	146,70	64%	40,15	132,95%
			22	7,00	28,68	20,05	48,73	59%	76,31	-62,42%
		24	24	16,00	108,58	134,16	242,74	45%	78,98	37,48%
G		28	28	52,00	58,46	35,54	94,00	62%	48,72	19,99%
		28	28	25,00	117,25	87,14	204,39	57%	58,64	99,95%

Tabella 5.10. Riepilogo consumi dei valori di consumo di acqua raggruppati per edificio nella stagione 2016/2017

Pur raccogliendo i dati per edificio continua persistere una estrema variabilità dei consumi di ACS, AFS. Come visibile è molto ampio anche l'intervallo dei dati di fabbisogno previsto da norma a causa del diverso numero di occupanti presenti in alloggi di dimensioni simili: 40-101 L/pers. gg nella prima stagione e 38-87 L/pers. gg nella seconda stagione. Ciò implica una maggior tolleranza delle variazioni di consumi misurati.

Escludendo i dati anomali, i valori medi di consumo per l'intero complesso sono pari a 72,0 L/pers. gg per l'ACS e 52,7 L/pers. gg per AFS nella stagione 2015/2016 e 81,7 L/pers. gg per ACS e 56,0 L/pers. gg per AFS nella stagione 2016/2017. Nell'ultima stagione si è quindi

registrato un aumento del consumo di acqua.

Più costante è il rapporto fra il consumo di ACS e il consumo totale di acqua sanitaria. Salvo un paio di eccezioni è sempre superiore al 50% ed in media pari a 0.6 in entrambe le stagioni.

Il performance gap tra i valori reali medi per edificio e i relativi valori medi standard di progetto è negativo in soli quattro casi per la stagione 2015/2016 e due nella successiva. Per due edifici il consumo reale è inferire a quello standard di norma in entrambe le stagioni, e raggiunge valori minimi pari a -77% nella prima stagione considerata e -62% nella seconda. Non considerando valori di consumo inferiori a 20 L/pers. gg il numero di indici negativi si riduce a tre nella stagione 2015/2016 (per l'edificio 14C il performance gap diventa pari a 9,75%) e nella stagione 2016/2017 gli indici negativi aumentano da -41% a -21% per l'edificio 18B e da -62% a -42,4% per l'edificio 22A.

In tutti gli altri casi si è misurato un consumo medio di ACS per edificio superiore al fabbisogno medio previsto da norma. Escludono i valori di consumo superiori a 220 L/pers. gg il performance gap massimo della Tabella 5.9 subisce un notevole decremento, da 183% diventa pari a 86% e la media degli indici positivi passa da 67% a 57%. Nella stagione 2016/2017 se si escludono i valori di consumo di ACS superi a 220 L/pers. gg si ottiene una notevole diminuzione dei valori di performance gap positivi, la loro media passa da 78% a 40%. Questi ultimi dati mostrano chiaramente come sia importante riuscire ad isolare tutti i valori affetti da anomalie al fine di poter ricavare risultati significativi dall'analisi dei consumi di acqua. Chiaramente l'intervallo di consumi di ACS e AFS troncato fra 20 L/pers. gg e 220 L/pers. gg risulta ancora eccessivamente ampio. Nell'intento di riuscire a raccogliere dati di consumo in classi più uniformi si sono analizzati i vari alloggi raggruppandoli per numero di locatari dichiarati residenti al loro interno. Le figure sottostanti riportano i grafici combinati delle seguenti informazioni:

- Colonne in pila dei consumi di ACS e AFS per la stagione 2016/2017;
- Il grafico a linee (con indicatori) dei consumo totali di acqua per gli appartamenti occupati della stagione2015/2016;
- La retta del consumo medio di acqua potabile (somma di ACS e AFS nella stagione 2016/2017) degli appartamenti riportati nel grafico;
- La retta indicate il fabbisogno medio di ACS standard da norma degli appartamenti della categoria.

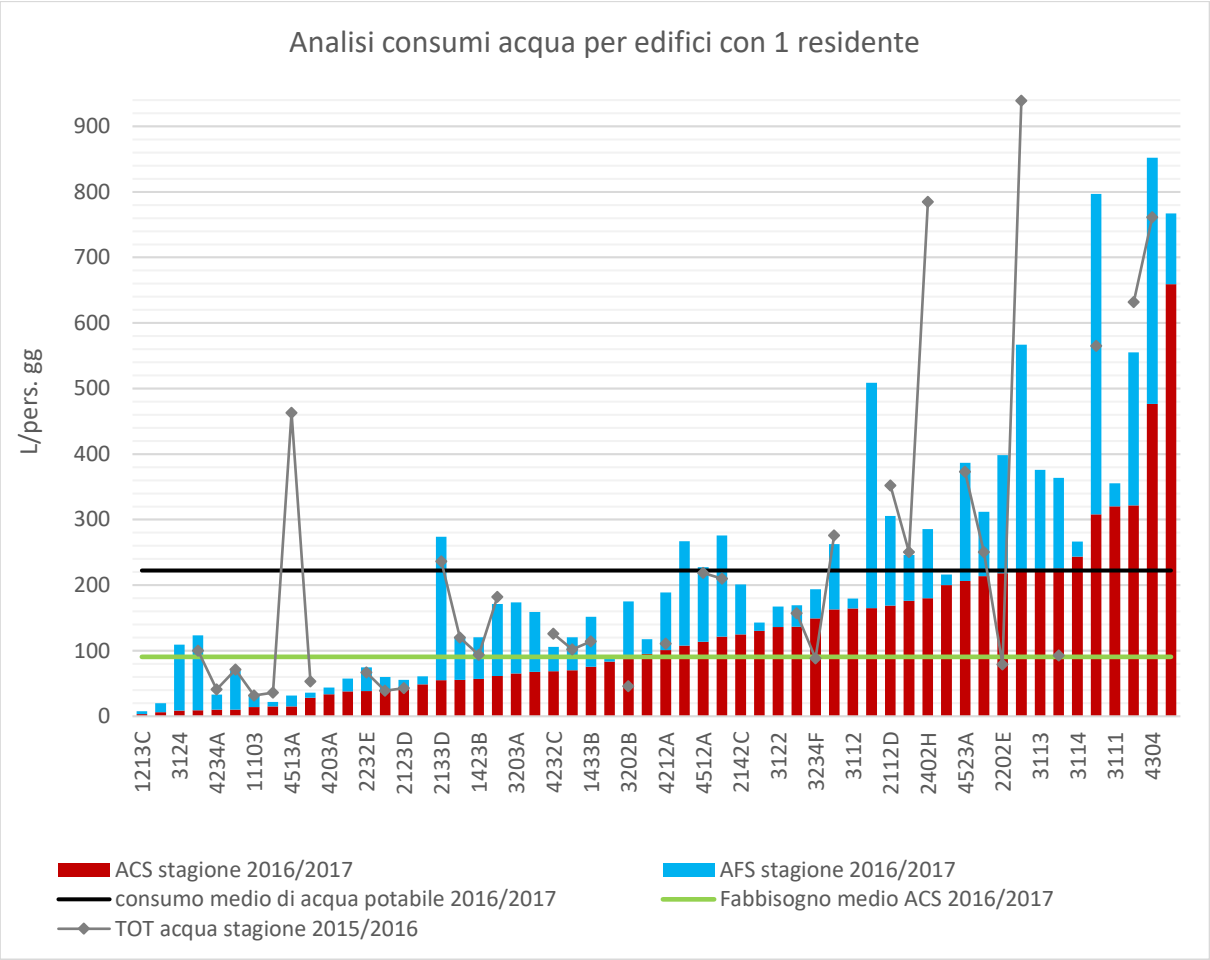


Figura 5.32. Analisi consumi di acqua per unità immobiliari con 1 residente.

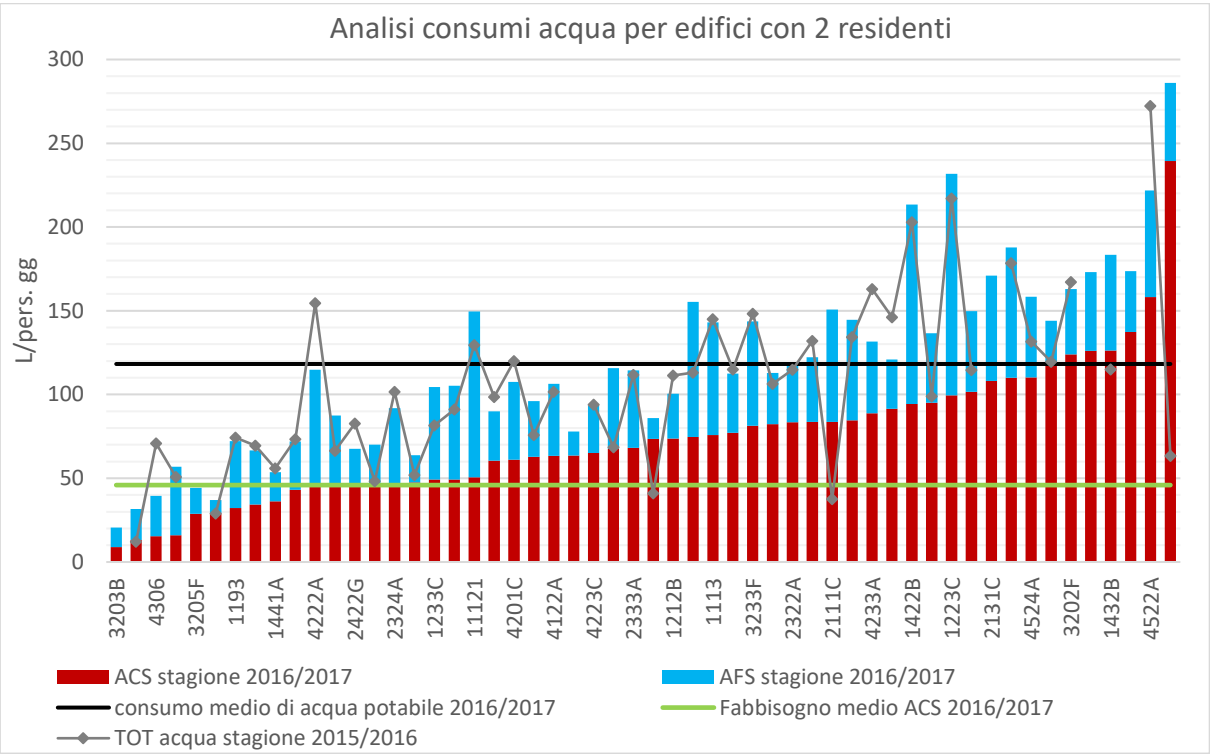


Figura 5.33. Analisi consumi di acqua per unità immobiliari con 2 residenti.

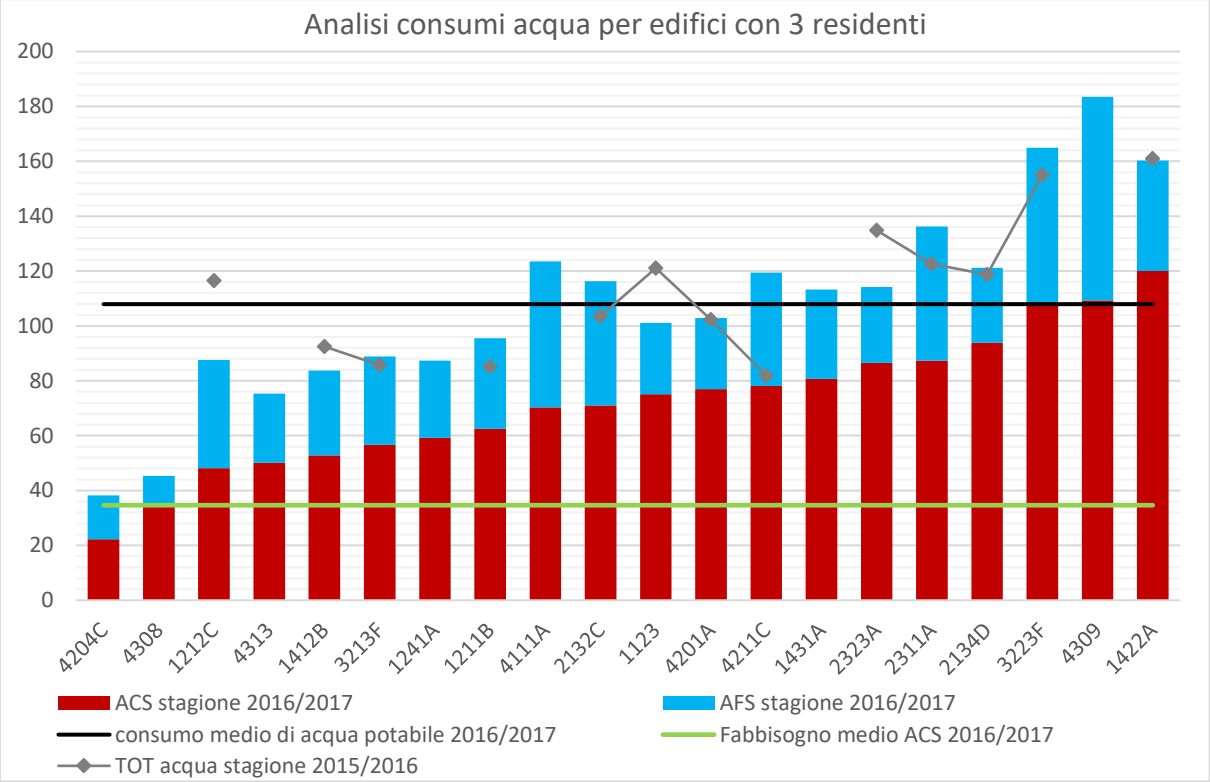


Figura 5.34. Analisi consumi di acqua per unità immobiliari con 3 residenti.

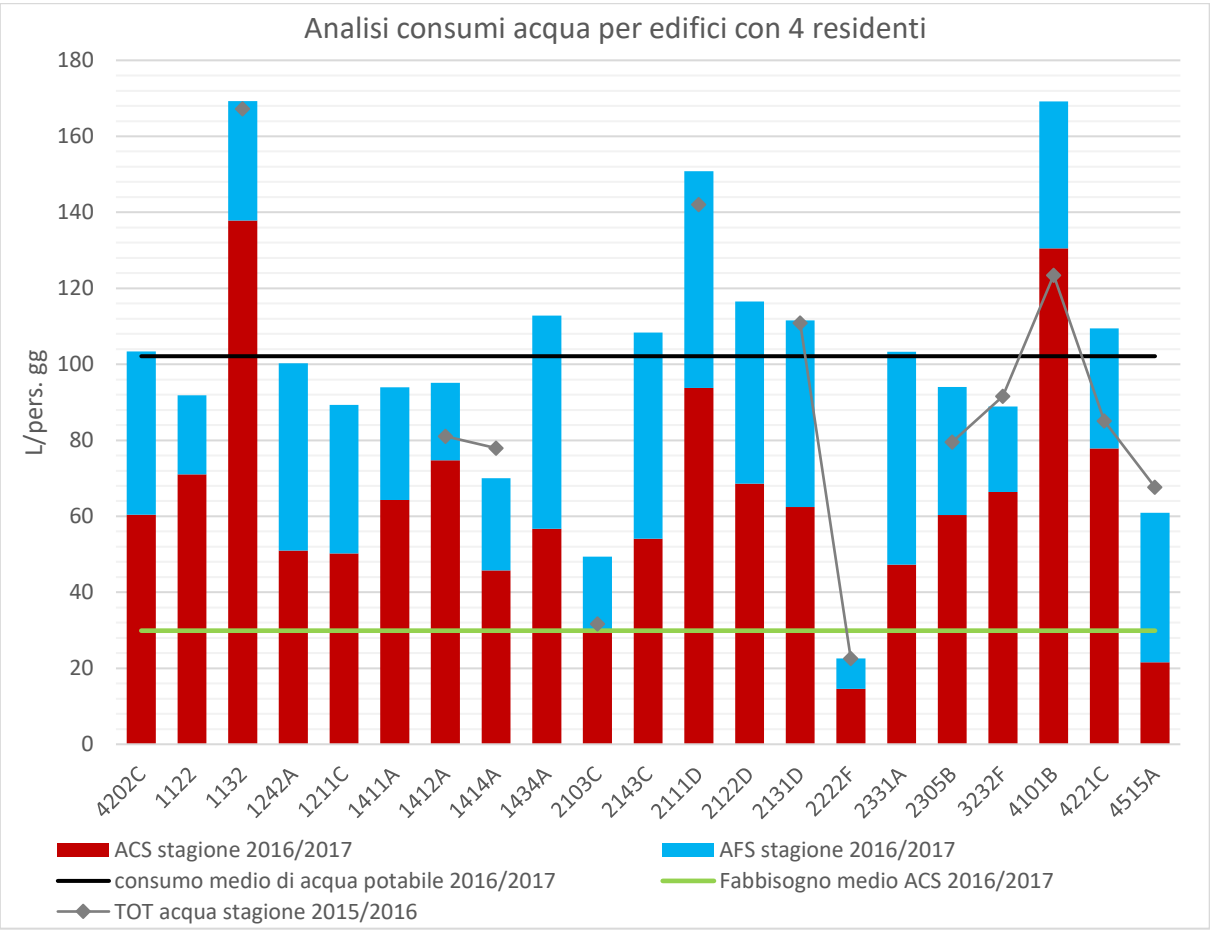


Figura 5.35. Analisi consumi di acqua per unità immobiliari con 4 residenti.

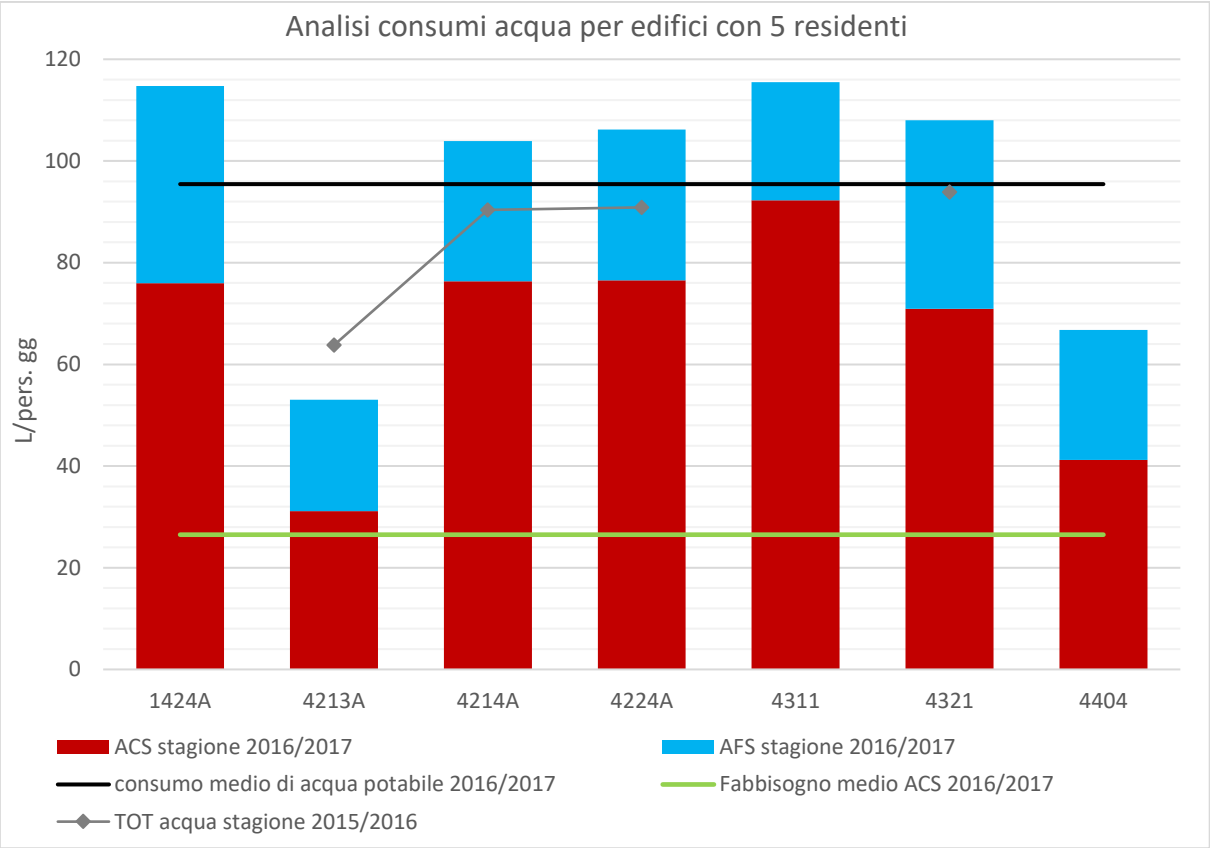


Figura 5.36. Analisi consumi di acqua per unità immobiliari con 5 residenti.

Non sono visibili apprezzabili miglioramenti di uniformità dei valori di consumo di acqua fra le unità immobiliari con uno e con due residenti.

Da notare il fatto che all'aumentare del numero di occupanti si riduce notevolmente il valore dei picchi massimi. All'aumentare del numero di occupanti si può vedere anche una miglior omogeneità dei valori di consumo compresi nell'intervallo 80-120 L/pers. gg. Per la classe con 5 residenti rimangono due valori di disturbo di molto inferiori alla media dei consumi totali di acqua (linea nera). Esclusi quest'ultimi si può vedere che per i 5 alloggi rimanenti il consumo totale di acqua si attesta nell'intervallo accettabile compreso tra 112 e 118 L/pers. gg..

Il numero di occupanti rientra nei parametri di calcolo utilizzati nella normalizzazione dei consumi di acqua ed è perciò fondamentale la sua correttezza. Al fine di migliorare l'analisi è necessario innanzitutto indagare la veridicità del numero di persone dichiarate occupanti continuativamente gli alloggi, soprattutto per gli alloggi in cui sono risultano residenti 1 o 2 persone.

6. Calcolo del Fabbisogno di Energia Termica per la Climatizzazione Invernale e dell'Incidenza dei Principali Fattori di Influenza sui Consumi Energetici.

Questo capitolo è dedito alla determinazione del fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale di uno specifico alloggio. Il calcolo è effettuato secondo la procedura descritta dalla specifica tecnica UNI/TS 11300-1.

La valutazione ha lo scopo di confrontare i risultati del reale consumo di energia termica con il fabbisogno calcolato secondo la norma nelle stesse condizioni al contorno. Questa analisi permette di approfondire l'indagine di due delle tre principali anomalie riscontrate nei valori di consumo di energia termica ETh:

- La differenza dei reali consumi di energia termica rispetto al fabbisogno previsto da norma;
- La divergenza dei reali consumi di energia termica per riscaldamento fra alloggi rientranti nella stessa categoria immobiliare.

Attraverso tale analisi è possibili indagare se la causa della divergenza fra i vari valori di consumo risiede nelle condizioni al contorno definite dai dati climatici e dalle modalità di occupazione.

La norma specifica l'applicabilità del modello di calcolo in tre diverse condizioni: condizioni di progetto (*Design Rating*), standard (*Asset Rating*) e adattate all'utenza (*Tailored Rating*). In conformità con i fini del calcolo si è scelto seguire una valutazione di tipo A3 (*Tailored Rating*) in cui sono state apportate alcune semplificazioni compatibili con i fini del calcolo.

In tali condizioni il modello di calcolo attinge ai seguenti dati di ingresso:

- Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio ricavati dagli elaborati progettuali come modificati nell'as built;
- Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edifico ricavati dalla relazione tecnica sulle prestazioni energetiche dell'edificio e dall'allegato abaco delle strutture. Per tuti i parametri non reperibili nell'elaborato progettuale sopra menzionato si è ricorso ai dati riportati nella stessa norma UNI/TS 11300.
- Dati relativi all'impianto di ventilazione meccanica ricavati dalla relazione tecnica energetica;

- Dati climatici medi mensili reali misurati nella stagione di riscaldamento 2016/2017;
- Temperatura interna e temperatura dell'aria immessa in ambiente dall'impianto di ventilazione meccanica ricavate dai valori misurati dal BEMS. Per tutti gli altri dati, relativi alle modalità di occupazione, di cui non si è potuto ricavare informazioni sul loro reale andamento (apporti interni, modalità di gestione delle schermature mobili, portate d'aria dell'impianto di ventilazione meccanica) si è fatto riferimento alle modalità di valutazione riportati nella stessa norma.

Il modello di calcolo, sviluppato su Excel, è concepito in modo tale da permettere un ricalcolo automatico del fabbisogno finale al variare dei principali parametri di input. In questo modo è possibile effettuare un'ulteriore indagine, ovvero un'analisi di sensibilità del modello di calcolo impostato. L'analisi di sensibilità permette di studiare e visualizzare la risposta dell'output del modello al variare dei dati di input. Si determina così il grado di influenza delle variabili in gioco nel calcolo sul risultato finale. È in questo modo possibile, appurata la validità della valutazione impostata, determinare per esempio l'aumento o diminuzione dei consumi di energia termica al variare (in percentuale) della temperatura esterna, della temperatura interna, degli apporti solari, degli apporti interni o altri fattori di interesse.

6.1. Fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale secondo la UNI/TS 11300-1

La procedura di calcolo scelta fa riferimento al metodo di calcolo mensile quasi stazionario descritto dalla norma europea UNI EN ISO 13790. Tale procedura si basa sul bilancio per ogni mese tra dispersioni termiche (trasmissione e ventilazione) e guadagni termici (solari ed interni) valutati in condizioni medie mensili. La formula per il calcolo del fabbisogno tiene in considerazione degli effetti dinamici attraverso:

- L'introduzione del fattore di utilizzazione degli apporti, che permette di considerare lo sfasamento temporale tra scambi e apporti termici;
- Fornendo una procedura semplificata che permette di considerare la riduzione del fabbisogno di energia dovuto al riscaldamento intermittente.

Il calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento, effettuato mese per mese, si basa sulla seguente equazione:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol,w}) \qquad (6.1)$$

Dove:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica per riscaldamento;
- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento;
- Q_{gn} sono gli apporti totali di energia termica;
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione;
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione;
- Q_{int} sono gli apporti termici interni;
- Q_{sol} sono gli apporti termici solari;
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica.

La valutazione è eseguita per l'alloggio 1413A appartenete al condominio A (numero civico 12A). L'alloggio appartiene alla tipologia edilizia denominata A11 in cui rientrano altri tre unità immobiliari. Dal confronto dei valori di energia termica normalizzata ETh*(2404) risulta consumare, in entrambe le stagioni analizzate, molta più energia termica degli alloggi rientranti nella medesima tipologia edilizia.

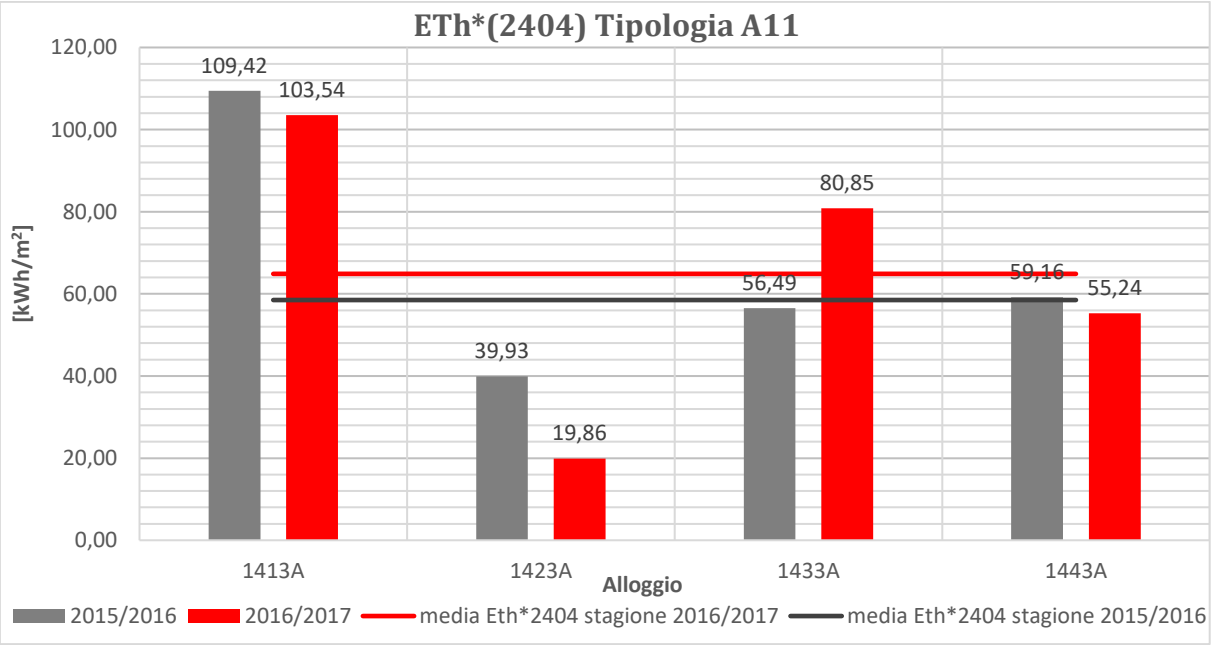


*Figura 6.1. Confronto valori di consumo di energia termica normalizzata ETh*2404 misurati nelle due stagioni per la tipologia immobiliare A11.*

I quattro alloggi confrontati in Figura 6.1 appartengono allo stesso edificio e sono 4 alloggi

sovrapposti appartenenti ai piani compresi tra il primo e il quarto. Di seguito sono riportati gli estratti delle piante as built 1:100 dell'edificio in cui sono visibili i quattro alloggi di interesse. Per ogni alloggio è inoltre riportata l'indicazione dei consumi misurati nelle stagioni di riscaldamento 2015/2016 e 2016/2017 (in rosso) e delle temperature interne medie stagionali. La categoria A11 è campita con colore viola.

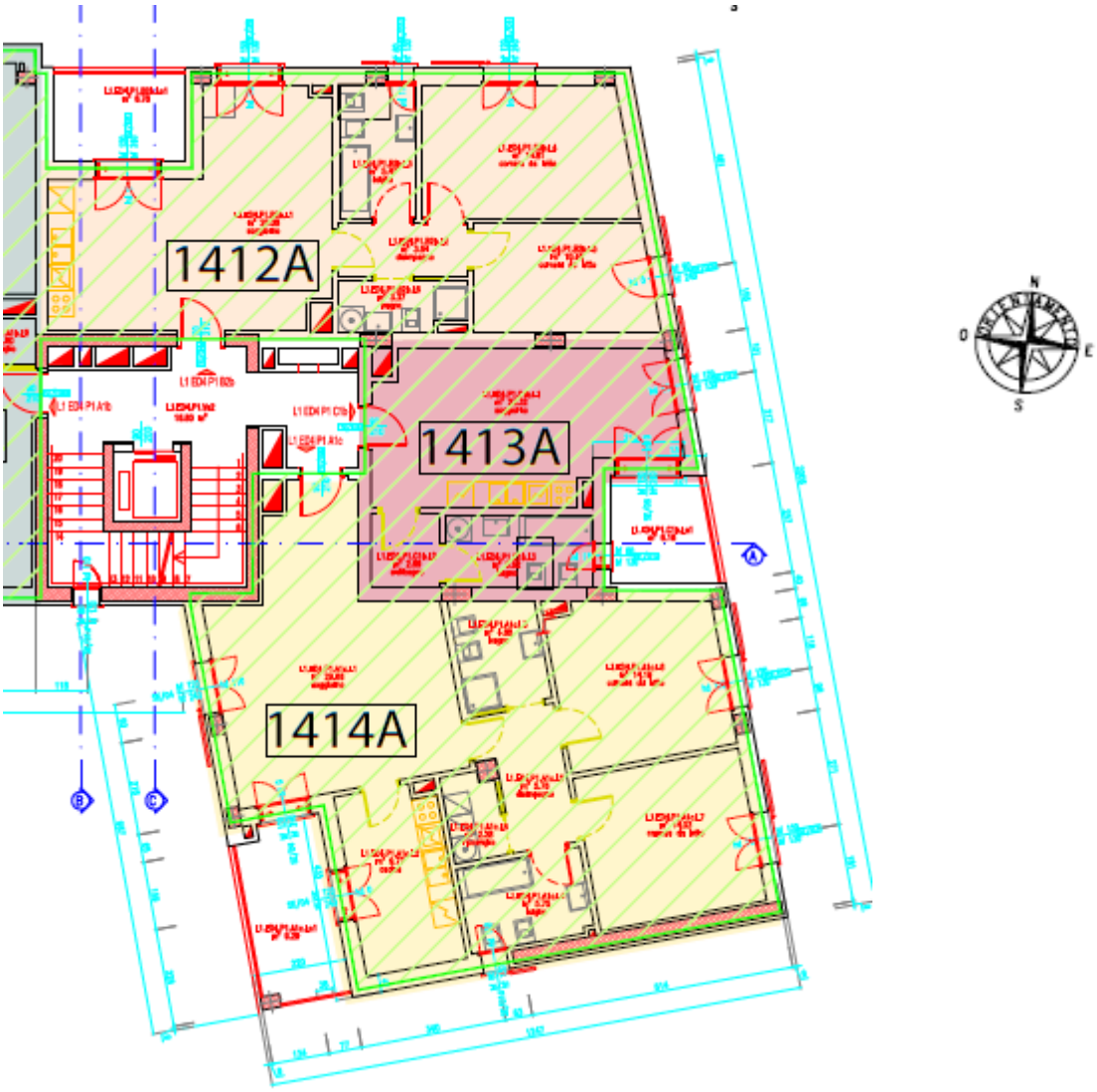


Figura 6.2. Estratto pianta piano primo edificio 4 lotto 1 con evidenziato in viola l'alloggio 1413A.

Alloggio 1413A piano 1:

- 28,9 m^2
- Ti media stagionale 2016/2017= 21.78 °C
- Ti media stagionale 2015/2016= 21.06 °C
- ET* 2404 2016/2017= 103.54 kWh/mq
- ET* 2404 2015/2016= 109.42 kWh/mq

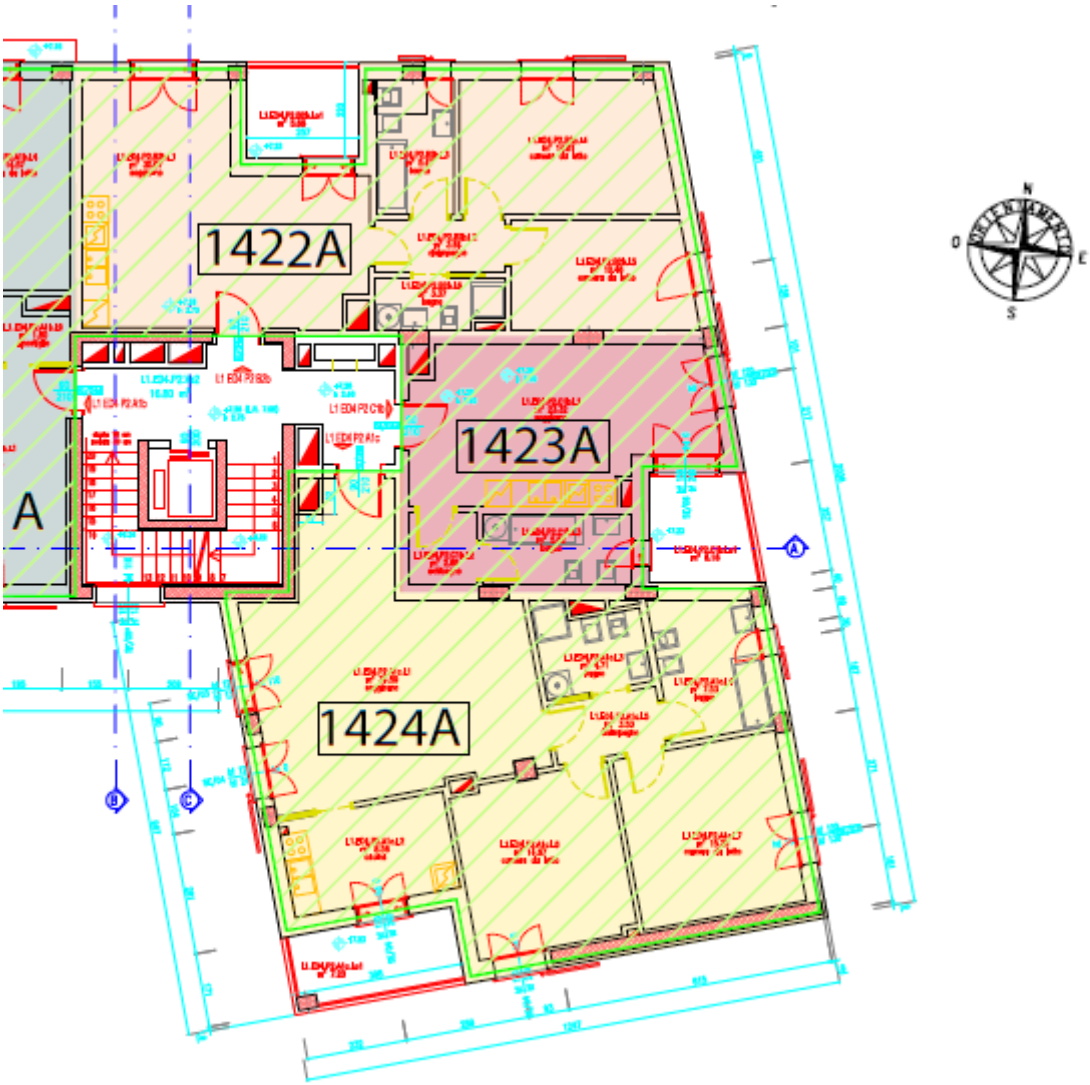


Figura 6.3. Estratto pianta piano secondo edificio 4 lotto 1.

Alloggio 1423A piano 2:

- 28,9 m^2
- Ti media stagionale 2016/2017= 21,63 °C
- Ti media stagionale 2015/2016= 21,34 °C
- ET* 2404 2016/2017= 19,86 kWh/mq
- ET* 2404 2015/2016= 39,93 kWh/mq

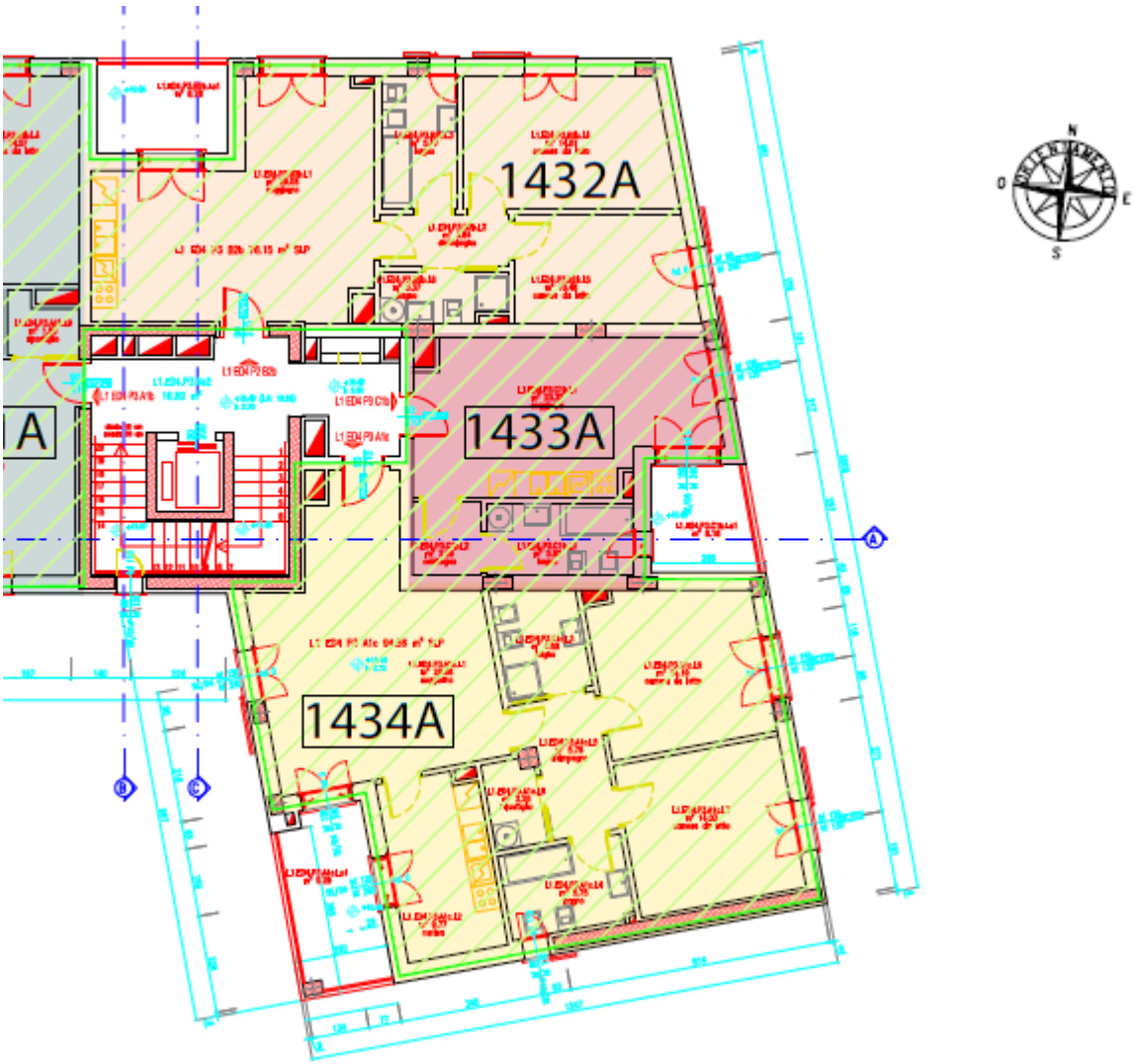


Figura 6.4. Estratto pianta piano terzo edificio 4 lotto 1.

Alloggio 1433A piano 3:

- 28,9 m^2
- Ti media 2016/2017= 21.98 °C
- Ti media 2015/2016= 20.64 °C
- ET* 2404 2016/2017= 80.854 kWh/mq
- ET* 2404 2015/2016= 56.49 kWh/mq

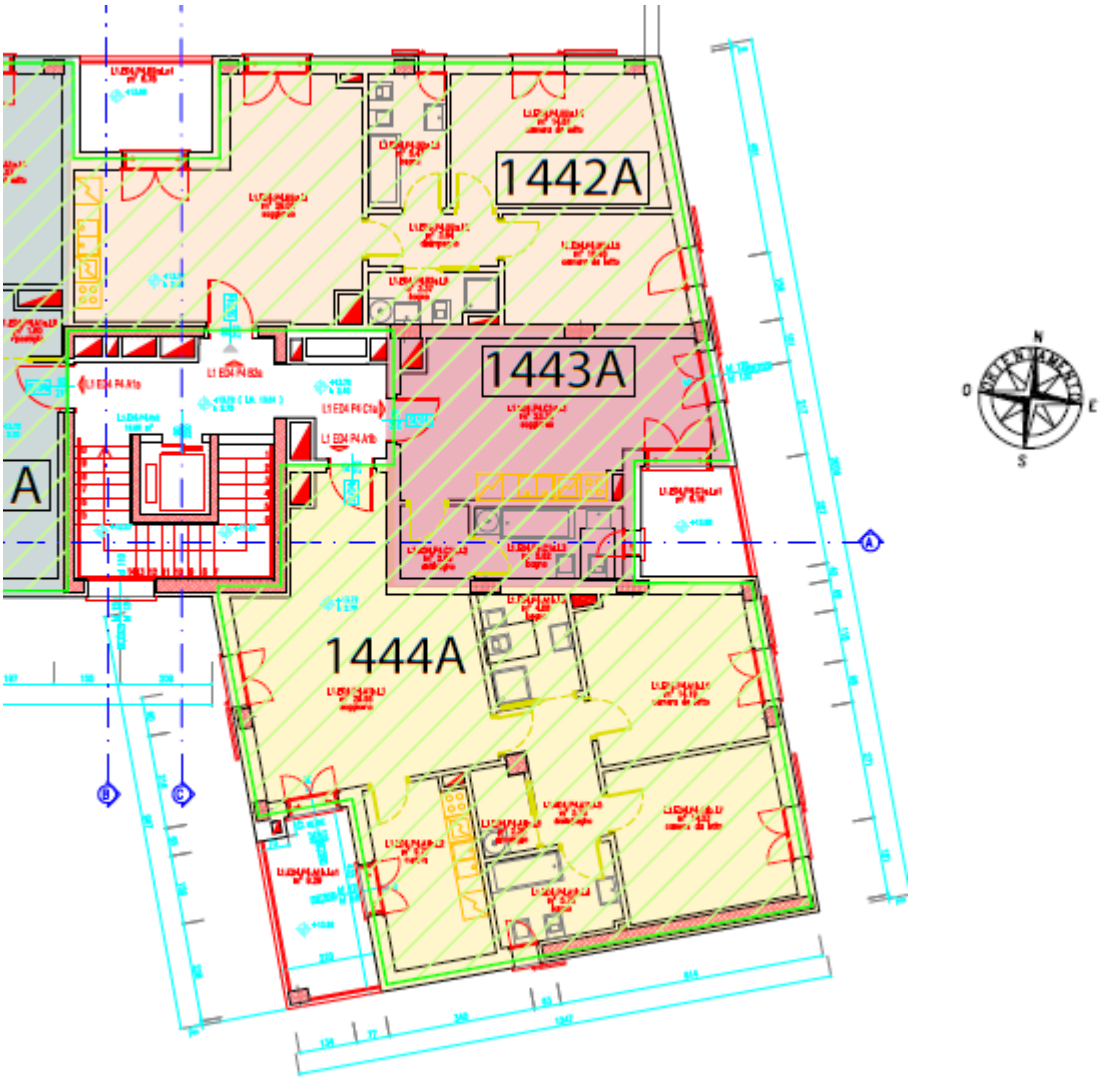


Figura 6.3. Estratto pianta quarto secondo edificio 4 lotto 1.

Alloggio 1443A piano 4:

- 28,9 m^2
- Ti media 1143A 2016/2017= 21.11 °C
- Ti media 1143A 2015/2016= 21.25 °C
- ET* 2404 2016/2017= 55.24 kWh/mq
- ET* 2404 2015/2016= 59.16 kWh/mq

Lo sviluppo della procedura di calcolo scelta comporta le seguenti fasi di lavoro:

- Definizione dei confini degli ambianti climatizzati;
- Definizione dei dati di ingrasso per i calcoli;
- Determinazione degli apporti interni (Q_{int});
- Determinazione degli apporti solari sui componenti opachi e trasparenti(Q_{sol});

- Determinazione delle perdite per ventilazione ($Q_{H,ve}$);
- Determinazione delle perdite per trasmissione ($Q_{H,tr}$);
- Calcolo dei parametri dinamici ($\eta_{H,gn}$);
- Calcolo per ogni mese del fabbisogno di energia termica ($Q_{H,nd}$);
- Per i mesi estremi della stagione di riscaldamento, ricalcolo dei fabbisogni di energia delle frazioni di mese compresi nel periodo di analisi.

I confini della zona dell'edificio considerata nei calcoli sono quelli definiti dall'involucro dell'unità immobiliare 1413A.

La Tabella 6.1. riporta i principali dati di input considerati nei calcoli:

- Dati dimensionali dell'alloggio ricavati dalla relazione energetica
- Dati climatici:
    - Temperatura esterna θe (°C) medio stagionale, medio mensile e media per le frazioni di mese estreme della stagione;
    - Temperatura interna θi (°C) medio stagionale, medio mensile e media per le frazioni di mese estreme della stagione;
    - Temperatura di immissione dell'aria in ambiente preriscaldata dall'impianto di ventilazione meccanica θsup (°C) medio mensile e media per le frazioni di mese estreme della stagione;
    - Valori di irradianza medio mensile su superfice orizzontale e verticale per varie esposizioni (W/m^2) e media per le frazioni di mese estreme della stagione;
    - Pressione parziale del vapore d'acqua $P_{v,e}$ (Pa) medio mensile e media per le frazioni di mese estreme della stagione;

Alloggio	1413A
Latitudine [°]	45,49°
superficie lorda [m2]	37,49
Sottozona 1	23,32
Sottozona 2	5,62
Sottozona 3	2,83
h. alloggio [m]	2,7
Volume [m3]	101,223

periodo	15/10/2016-15/04/2017

note	da as built
categoria zona	soggiorno/cucina
categoria zona	bagno
categoria zona	antibagno

θ_{int} medio stagionale	21,8
θ_{e} medio stagionale	8,3
θ_{sup} immissione aria medio stagionale	20,73

note	media nel periodo considerato

mese	**n. giorni**	**θ_{i}, [°c]**	**θsup [°c]**	**θe [°c]**		**Frazione mese**	**θ_{i}, [°c]**	**θsup [°c]**	**θe [°c]**
[-]	[-]	[°C]	[°C]	[°C]		[-]			
gen-17	31,00	21,54	19,98	1,72					
feb-17	28,00	21,53	19,94	6,77					
mar-17	31,00	22,01	19,85	12,96					
apr-17	30,00	21,45	19,86	16,36		1/04-15/04	22,19	20,10	17,91
mag-16	31,00	21,66	22,70	19,14					
giu-16	30,00	23,36	22,13	24,80					
lug-16	31,00	24,56	22,29	28,40					
ago-16	31,00	24,52	21,26	26,60					
set-16	30,00	24,02	21,14	23,51					
ott-16	31,00	21,27	21,81	13,57		15/10-31/10	21,05	21,94	13,02
nov-16	30,00	21,95	22,43	8,58					
dic-16	31,00	22,04	21,03	3,93					

	I orizzontale [W/m2]	I N [W/m2]	I N-E [W/m2]	I E/O [W/m2]	I S [W/m2]	pv,e [Pa]
gen-17	70,6	20,5	23,5	61,3	150,1	436,9
feb-17	70,4	26,2	31,1	52,6	88,0	865,4
mar-17	156,8	43,7	68,3	117,1	158,1	940,6
apr-17	198,9	62,8	98,0	138,1	131,8	1063,6
mag-16	211,9	84,3	113,6	139,3	107,6	1395,7
giu-16	243,8	103,8	134,1	157,5	108,8	2014,1
lug-16	269,0	104,5	144,4	176,8	121,5	2227,4
ago-16	245,9	77,0	123,2	169,0	140,5	2033,9
set-16	183,3	50,3	83,9	133,0	151,9	1753,3
ott-16	92,0	31,3	40,5	68,6	105,6	1230,6
nov-16	48,9	19,1	21,1	37,3	71,2	869,2
dic-16	51,1	17,2	18,5	43,3	106,6	711,6

Frazione	I orizzontale [W/m2]	I N [W/m2]	I S [W/m2]	I E/O [W/m2]	I N-E [W/m2]	pv,e [Pa]
1-15	226,4	64,3	151,5	159,6	108,8	1136,9
15-31	73,5	28,0	78,1	53,1	34,2	1364,7

N. finestre		3						
Finestra	Esposizione	Aw [m2]	Af [m2]	Ag [m2]	Uf [W/m2K]	Ug [W/m2K]	ψ [W/mK]	L [m]
1	N/E	1,56	0,31	1,25	2,5	1	0,11	7,6
2	S	3,60	0,72	2,88	2,5	1	0,11	12,6
3	E	0,78	0,16	0,62	2,5	1	0,11	3,8

Tabella 6.1. Dati di input per calcolo fabbisogno secondo UNI/TS 11300-1.

I dati climatici riportati nella Tabella 6.1 sono stati ricavati da valori misurati da sonde installate nel sito o in stazioni climatiche presenti nelle sue vicinanze. Il procedimento con cui si è calcolata la temperatura esterna medio mensile è specificato nel capitolo 4. La temperatura interna all'alloggio è stata ottenuta in modo analogo. L'irradianza e la pressione parziale del vapore d'acqua sono stati ricavati da dati forniti da una vicina stazione meteorologica.

Per il calcolo della pressione parziale del vapore d'acqua si è utilizzata la seguente formula:

$$e = 6{,}11 \cdot \frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{7{,}5 \cdot Te}{237{,}7+Te}} \tag{6.2}$$

Dove:

- UR (%) è l'umidità relativa medio mensile o media per la frazione

di mese estreme della stagione di riscaldamento ricavata dai valori medio giornaliera scaricati dal database della stazione metereologica;

- Te (°C) è la temperatura esterna medio mensile o media per la frazione di mese estreme della stagione di riscaldamento ricavata dai dati misurati delle sonde presenti nel sito.

I valori di irradianza medio mensile su piano verticale comunque orientato sono stati calcolati, con il metodo riportato nell'appendice C della norma tecnica UNI 10349-1:2015, a partire dai dati medio mensili della radiazione globale medio giornaliera su piano orizzontale. Questi ultimi sono stati scaricati da una stazione meteorologia nelle vicinanze del complesso di edifici.

L'allegato C alla 10349-1:2015 fornisce una semplificazione della procedura riportata nell'appendice A per il calcolo dell'energia radiante ricevuta da una superficie fissa comunque inclinata ed orientata a partire da valori medio mensili. Secondo tale metodo il valore dell'irradianza $\overline{H}$ su piano verticale di interesse può essere determinato in rapporto al valore corrispondente $\overline{H_h}$ su piano orizzontale. Il valore medio mensile di questo rapporto, detto $\bar{R}$, può essere approssimato come somma dei contributi del soleggiamento diretto, diffuso e riflesso.

Nelle tabelle per il calcolo del fabbisogno sono state campite le celle di colori diversi in funzione dell'origine dei dati contenuti secondo la legenda riportata in Tabella 6.2.

LEGENDA	
	Dati ricavati da norma
	Dati ricavati da progetto

Tabella 6.2 Legenda colori utilizzati nelle tabelle per il calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento dell'alloggio 1413A in funzione dell'origine dei dati.

Gli apporti interni sono stati determinati secondo la procedura definita per la valutazione adattata all'utenza dalla norma UNI/TS 11300-1 al punto 13.1.2.

Le tabelle 6.3 e 6.4 contengono i seguenti dati:

- Destinazione d'uso della stanza;
- Giorno della settimana;
- Periodo orario della giornata e numero di ore contenute dal periodo;
- Area della stanza Af (m^2);
- Flusso termico generato dalle persone e apparecchiature in W/m^2 nel

periodo di riferimento e nella specifica stanza;

- Tempo in megasecondi delle ore della giornata considerate;
- Apporti interni Q_{int} nelle ore della giornata considerata (MJ e kWh);
- Apporti interni giornalieri e settimanali (MJ);
- Mese di riferimento, numero giorni contenuti e numero settimana contenute;
- Apporti interni Q_{int} medi mensili (MJ e kWh) ottenuti come prodotto degli apporti interni settimanali per numero di settimane contenute nel mese.

Calcolo degli apporti termici- valutazione adatta all'utenza									
stanza	**giorni**	**ora riferimento di inizio**	**ora riferimento di fine**	**ore nel periodo**	**Af (da pdf as built)**	**ϕint come da normativa**	**t**	**Q_{int}**	
				[h]	**[m^2]**	**[W/m^2]**	**[Ms]**	**[MJ]**	**[kWh]**
soggiorno/cucina	lun/ven	07:00	17:00	10,00	23,32	8,00	0,04	6,72	1,87
		17:00	23:00	6,00	23,32	20,00	0,02	10,07	2,80
		23:00	07:00	8,00	23,32	2,00	0,03	1,34	0,37
	sab/dom	07:00	17:00	10,00	23,32	8,00	0,04	6,72	1,87
		17:00	23:00	6,00	23,32	20,00	0,02	10,07	2,80
		23:00	07:00	8,00	23,32	2,00	0,03	1,34	0,37
altro	lun/ven	07:00	17:00	10,00	8,45	1,00	0,04	0,30	0,08
		17:00	23:00	6,00	8,45	1,00	0,02	0,18	0,05
		23:00	07:00	8,00	8,45	6,00	0,03	1,46	0,41
	sab/dom	07:00	17:00	10,00	8,45	2,00	0,04	0,61	0,17
		17:00	23:00	6,00	8,45	4,00	0,02	0,73	0,20
		23:00	07:00	8,00	8,45	6,00	0,03	1,46	0,41

Tabella 6.3. Calcolo degli apporti interni in funzione della destinazione d'uso delle stanze dei giorni settimanali e del periodo della giornata.

Calcolo degli apporti termici- valutazione adatta all'utenza							
giorni	ϕ_{int} giornaliero per edificio	ϕint settimanale	mese	n. gg nel mese	n. settimane al mese	Qint	Qint
	[MJ]	[MJ]				[MJ]	[kWh]
lun/ven	20,08	142,27	gen	31,00	4,43	630,04	175,01
sab/dom	20,93		feb	28,00	4,00	569,07	158,07
			mar	31,00	4,43	630,04	175,01
			apr	30,00	4,29	609,72	169,37
			mag	31,00	4,43	630,04	175,01
			giu	30,00	4,29	609,72	169,37
			lug	31,00	4,43	630,04	175,01
			ago	31,00	4,43	630,04	175,01
			sett	30,00	4,29	609,72	169,37
			ott	31,00	4,43	630,04	175,01
			nov	30,00	4,29	609,72	169,37
			dic	31,00	4,43	630,04	175,01

Tabella 6.4. Calcolo degli apporti interni medi mesili.

Gli apporti di origine solare diretti attraverso le partizioni opache e trasparenti sono determinati rispettivamente secondo le formule 6.3 e 6.4:

$$Q_{sol,w} = \{\sum_k \phi_{sol,w,mn,k}\} * t \tag{6.3}$$

$$Q_{sol,op} = \{\sum_k \phi_{sol,op,mn,k}\} * t + \{\sum_l (1 - b'_{tr,l}) * \phi_{sol,mn,u}\} * t^{30} \tag{6.4}$$

Dove:

- $b'_{tr,l}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato della singola zona termica z-esima avente il flusso termico l-esimo di origine solare;
- $\phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico l-esimo di origine solare, mediato sul tempo, espresso in W;
- $\phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico l-esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u, mediato sul tempo, espresso in W;

Non sono stati considerati i contributi entranti nella zona climatizzata dalle serre in quanto

[30] Formula A.7 Appendice A UNI 11300-1 per calcolo apporti termici di ciascuna zona termica in cui è scomponibile l'edificio.

tali elementi non sono presenti lungo il perimetro dell'alloggio.

Il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato della singola zona termica z-esima $b'_{tr,l}$ è calcolato secondo l'equazione A.9 della norma UNI/TS 11300-1. Le tabelle riportanti i calcoli dei vari termini di cui è composto sono inserite nella sezione del presente capitolo dedicata alla determinazione del coefficiente di scambio termico per trasmissione.

Il flusso termico k-esimo di origine solare, $\phi_{sol,k}$, espresso in W, si calcola con la seguente equazione:

$$\phi_{sol,w,k} = F_{sh,ob,k} * A_{sol,w,k} * I_{sol,k} \quad (6.5)$$

$$\phi_{sol,op,k} = F_{sh,ob,k} * A_{sol,op,k} * I_{sol,k} \quad (6.6)$$

- $F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima;
- $A_{sol,w,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima con un dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m^2;
- $A_{sol,op,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie opaca k-esima con un dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m^2;
- $I_{sol,k}$ è l'irradianza solare media del mese considerato o della frazione di mese, sulla superficie k-esima, con un dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale, espressa in W/m^2.[31]

Il fattore di riduzione per ombreggiatura $F_{sh,ob}$ è determinato in funzione dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne F_{hor} , ad aggetti orizzontali F_{ov} e verticali F_{fin}. I valori di ombreggiatura dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal clima, dal periodo considerato e dalle caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti. Tali caratteristiche sono descritte da un parametro angolare.[32]

$$F_{sh,ob} = F_{hor} * \min(F_{ov}, F_{fin}) \quad (6.7)$$

[31] UNI/TS 11300-1
[32] UNI/TS 11300-1

Figura 6.4. Angolo dovuto ombreggiatura esterna

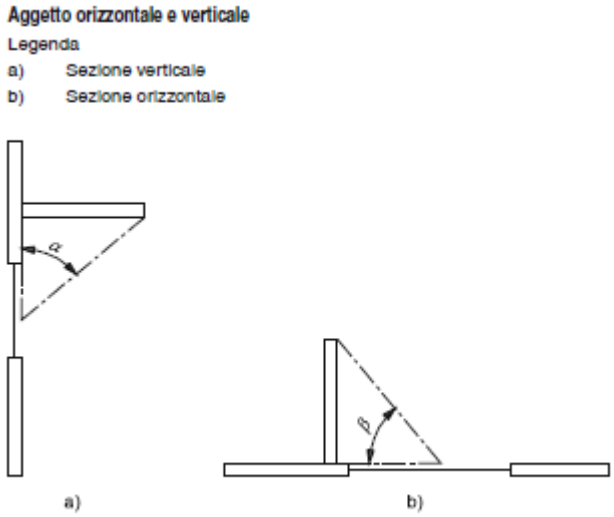


Figura 6.5. Angolo aggetto orizzontale e verticale

L'area di captazione solare effettiva, $A_{sol,w}$, di un componente vetrato dell'involucro (per esempio una finestra), espressa in m^2, è definita dalla seguente equazione:

$$A_{sol,w} = F_{sh,gl} * g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p} \quad (6.8)$$

dove:

- $F_{sh,gl}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;
- g_{gl} è la trasmittanza di energia solare della parte trasparente del componente;
- F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;

- $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (l'area del vano finestra).[33]

I valori di trasmittanza di energia solare totale degli elementi vetrati g_{gl} possono essere ricavati moltiplicando l'incidenza normale $g_{gl,n}$ per un fattore di esposizione F_W che considera la variazione della trasmittanza di energia solare totale in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare. I valori di F_W sono ricavati dal prospetto in funzione del mese e dell'orientamento. Per orientamenti non considerati nel prospetto si procede per interpolazione lineare.[34]

Trasmittanza di energia solare totale $g_{gl,n}$ di alcuni tipi di vetro

Tipo di vetro	$g_{gl,n}$
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75

Figura 6.6. Trasmittanza di energia solare

L'area di captazione solare effettiva, $A_{sol,op}$, di un componente opaco dell'involucro edilizio è calcolata con la seguente equazione:

$$A_{sol,op} = \alpha_{sol,c} * R_{se} * U_{c,eq} * A_c \quad (6.9)$$

dove:

- $\alpha_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco (dipende dal colore del componente opaco)
- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, espressa in m^2*K/W;
- A_c è l'area proiettata del componente opaco, espressa in m^2;
- $U_{c,eq}$è la trasmittanza termica equivalente del componente opaco, espressa in $W/(m^2*K)$[35]

Le tabelle sottostanti riportano i calcoli effettuati per il calcolo degli apporti di energia solare attraverso componenti opachi e trasparenti.

[33] UNI/TS 11300-1
[34] UNI/TS 11300-1
[35] UNI/TS 11300-1

Finestra	Esposizione	b_f	h_f	A	A_g	A_f	F_f	$(1-F_f)*A_w$
		[m]	[m]	[m^2]	[m^2]	[m^2]	[-]	[m^2]
1	N/E	1,2	1,3	1,6	1,2	0,3	0,2	1,2
2	S	1,5	2,4	3,6	2,9	0,7	0,2	2,9
3	E	0,6	1,3	0,8	0,6	0,2	0,2	0,6

Tabella 6.5. Calcolo della frazione di area relativa al telaio e dell'area vetrata

Trasmittanza di energia solare totale													
Finestra	$g_{gl,n}$ da abaco strutture	ggl (gen)	ggl (feb)	ggl (mar)	ggl (apr)	ggl (mag)	ggl (giu)	ggl (lug)	ggl (ago)	ggl (sett)	ggl (ott)	ggl (nov)	ggl (dic)
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0,69	0,58	0,60	0,62	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,61	0,58	0,57
2	0,69	0,67	0,66	0,62	0,57	0,54	0,53	0,53	0,55	0,60	0,64	0,67	0,68
3	0,69	0,59	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,60	0,59

Tabella 6.6. Calcolo trasmittanza di energia solare totale.

Fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili													
Finestra	g_{gl+sh}/g_{gl} prospetto B6 uni 11300 per veneziana bianca esterna	Fsh,gl (gen)	Fsh,gl (feb)	Fsh,gl (mar)	Fsh,gl (apr)	Fsh,gl (mag)	Fsh,gl (giu)	Fsh,gl (lug)	Fsh,gl (ago)	Fsh,gl (sett)	Fsh,gl (ott)	Fsh,gl (nov)	Fsh,gl (dic)
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0,15	0,78	0,80	0,72	0,70	0,70	0,68	0,69	0,68	0,69	0,69	0,74	0,79
2	0,15	0,31	0,30	0,31	0,37	0,47	0,52	0,47	0,35	0,30	0,27	0,29	0,27
3	0,15	0,56	0,59	0,44	0,40	0,40	0,36	0,37	0,36	0,38	0,39	0,47	0,58

Tabella 6.7. Calcolo del fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili con formula (51) UNI/TS 11300-1 e valori relativi al fattore di riduzione per schermature mobili $f_{sh,with}$ ricavati da prospetto 21 UNI/TS 11300-1.

Area di captazione solare effettiva												
Finestra	Asol,w(gen)	Asol,w(feb)	Asol,w(mar)	Asol,w(apr)	Asol,w(mag)	Asol,w(giu)	Asol,w(lug)	Asol,w(ago)	Asol,w(set)	Asol,w(ott)	Asol,w(nov)	Asol,w(dic)
	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
1	0,56	0,60	0,56	0,55	0,56	0,54	0,55	0,54	0,54	0,53	0,54	0,56
2	0,61	0,57	0,56	0,61	0,74	0,80	0,72	0,56	0,52	0,50	0,55	0,52
3	0,21	0,23	0,17	0,16	0,16	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,18	0,21

Tabella 6.8. Area di captazione solare effettiva.

FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE ENTRANTE ATTTRAVERSO LE SUPERFICI VETRATE															
Finestra	F_{hor}	F_{fin}	Fov	Φsol,w(gen)	Φsol,w(feb)	Φsol,w(mar)	Φsol,w(apr)	Φsol,w(mag)	Φsol,w(giu)	Φsol,w(lug)	Φsol,w(ago)	Φsol,w(set)	Φsol,w(ott)	Φsol,w(nov)	Φsol,w(dic)
	[-]	[-]	[-]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	1	1	1	13,2	18,6	38,0	54,0	63,2	72,7	78,9	66,6	45,3	21,3	11,3	10,4
2	1	interpolazione lineare a 45,49° di latitudine tra valore ricavato per 44° e 46°		71,4	35,7	53,8	42,4	41,0	45,8	43,8	39,5	44,1	35,7	29,9	45,2
3	1			7,3	7,5	13,1	13,5	13,0	12,8	14,7	14,4	13,6	5,8	2,8	3,2

Tabella 6.9. Calcolo del flusso termico di origine solare entrante attraverso ogni superficie vetrata

Mese	t [Ms]	Qsol,W [MJ]	Qsol,W [kWh/mq]
Gen	2,68	246,16	1,82
Feb	2,42	149,51	1,11
Mar	2,68	281,05	2,08
Apr	2,59	284,97	2,11
Mag	2,68	313,89	2,33
Giu	2,59	340,30	2,52
Lug	2,68	367,72	2,72
Ago	2,68	322,71	2,39
Set	2,59	266,83	1,98
Ott	2,68	168,05	1,25
Nov	2,59	114,25	0,85
Dic	2,68	157,46	1,17

Tabella 6.10. Calcolo degli apporti mensili di energia solare diretti attraverso le partizioni trasparenti.

FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE ENTRANTE ATTTRAVERSO LE SUPERFICI OPACHE											
Muro NORD / EST	$\alpha_{sol,c}$ (muro bianco)	R_{se}	$U_{c,eq}$ da abaco strutture	$A_{c\,TOT}$	$A_{finestre}$	$A_{c,netta}$	F_{hor}	$F_{sh,ob}$	$A_{sol,op}$	I_{sol}	$\Phi_{sol,op}$
	[-]	[m^2K/W]	[$W/(m^2 \times k)$]	[m^2]	[m^2]	[m^2]	[-]	[-]	[m^2]	[W/m^2]	[W]
Gen	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	23,54	0,36
Feb	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	31,14	0,48
Mar	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	68,27	1,05
Apr	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	97,96	1,51
Mag	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	113,65	1,75
Giu	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	134,11	2,07
Lug	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	144,41	2,23
Ago	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	123,15	1,90
Set	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	83,94	1,30
Ott	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	40,53	0,63
Nov	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	21,13	0,33
Dic	0,3	0,04	0,19	8,26	1,56	6,70	1	1	0,02	18,54	0,29

Tabella 6.11. Flusso termico di origine solare entrante attraverso la parete esposta a nord/est.

FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE ENTRANTE ATTTRAVERSO LE SUPERFICI OPACHE											
Muro SUD	$\alpha_{sol,c}$ (muro bianco)	R_{se}	$U_{c,eq}$ da abaco strutture	$A_{c\ TOT}$	$A_{finestre}$	$A_{c,netta}$	F_{hor}	$F_{sh,ob}$	$A_{sol,op}$	I_{sol}	$\Phi_{sol,op}$
	[-]	[m^2K/W]	[$W/(m^2 \times K)$]	[m^2]	[m^2]	[m^2]	[-]	[-]	[m^2]	[W/m^2]	[W]
Gen	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,76	0,01	150,12	0,62
Feb	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,68	0,01	88,00	0,33
Mar	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,57	0,01	158,11	0,50
Apr	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,49	0,01	131,76	0,35
Mag	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,50	0,01	107,62	0,29
Giu	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,51	0,01	108,75	0,30
Lug	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,67	0,01	121,54	0,45
Ago	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,63	0,01	140,50	0,48
Set	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,54	0,01	151,91	0,45
Ott	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,64	0,01	105,57	0,37
Nov	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,73	0,01	71,17	0,29
Dic	0,3	0,04	0,19	5,97	3,60	2,37	1	0,78	0,01	106,60	0,46

Tabella 6.12. Flusso termico di origine solare entrante attraverso la parete esposta a sud.

FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE ENTRANTE ATTTRAVERSO LE SUPERFICI OPACHE											
Muro EST	$\alpha_{sol,c}$ (muro bianco)	R_{se}	$U_{c,eq}$ da abaco strutture	$A_{c\ TOT}$	$A_{finestre}$	$A_{c,netta}$	F_{hor}	$F_{sh,ob}$	$A_{sol,op}$	I_{sol}	$\Phi_{sol,op}$
	[-]	[m^2K/W]	[$W/(m^2 \times K)$]	[m^2]	[m^2]	[m^2]	[-]	[-]	[m^2]	[W/m^2]	[W]
Gen	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,58	0,01	61,33	0,49
Feb	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,63	0,01	52,60	0,46
Mar	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,65	0,01	117,10	1,07
Apr	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,63	0,01	138,13	1,21
Mag	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,60	0,01	139,25	1,16
Giu	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,57	0,01	157,54	1,25
Lug	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,75	0,01	176,83	1,84
Ago	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,69	0,01	169,01	1,64
Set	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,70	0,01	132,96	1,29
Ott	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,56	0,01	68,59	0,54
Nov	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,43	0,01	37,34	0,22
Dic	0,3	0,04	0,19	6,83	0,78	6,05	1	0,35	0,01	43,35	0,21

Tabella 6.13. Flusso termico di origine solare entrante attraverso la parete esposta a est.

APPORTI DI ENERGIA TERMICA DOVUTI ALLA RADIAZIONE SOLARE SUI COMPONENTI OPACHI					
Mese	t	b'tr,l (corpo scala)	Qsol,op	Qsol,op,U (corpo scala)	Qsol,op tot
	[Ms]	[-]	[MJ]	[MJ]	[MJ]
Gen	2,68	0,09	3,97	4,00	7,96
Feb	2,42	0,09	3,08	2,58	5,65
Mar	2,68	0,09	7,00	5,66	12,66
Apr	2,59	0,09	7,98	5,72	13,70
Mag	2,68	0,09	8,59	9,42	18,01
Giu	2,59	0,09	9,38	14,36	23,74
Lug	2,68	0,09	12,10	21,13	33,22
Ago	2,68	0,09	10,76	24,17	34,93
Set	2,59	0,09	7,88	21,39	29,27
Ott	2,68	0,09	4,11	13,25	17,36
Nov	2,59	0,09	2,16	2,10	4,25
Dic	2,68	0,09	2,56	2,86	5,41

Tabella 6.14. Apporti mensili di energia termica dovuta alla radiazione solare entrante nell'ambiente climatizzato attraverso i componenti opachi.

Determinati tutti gli apporti è possibile procedere con il calcolo delle perdite di energia termica per ventilazione e trasmissione.

Per ogni mese o frazione di mese, gli scambi di energia termica per trasmissione sono determinati con l'equazione A5 definita nell'appendice A della norma UNI/TS 11300-1 come modificata per il calcolo di ciascuna zona termica:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \cdot \left(\theta_{int,set,H} - \theta_e\right)t + \left\{\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k}\right\}t + \left\{\sum_l b'_{tr,l,z} \cdot F_{r,l} \cdot \Phi_{r,mn,u,l}\right\}t - \\ + Q_{sol,op} \quad (6.10)$$

dove:

- $H_{tr,adj}$ coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno espresso in W/K;
- $\theta_{int,set,H}$ temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata, espressa in °C;
- θ_e temperatura esterna media del mese considerato o della frazione di mese definita espressa in °C;
- $F_{r,k}$ fattore di forma tra il componente edilizio k–esimo e la volta celeste;

- $F_{r,l}$ fattore di forma tra il componente edilizio l–esimo dell'ambiente non climatizzato e la volta celeste;
- $\Phi_{r,mn,k}$ extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k–esimo, mediato sul tempo, espresso in W;
- $\Phi_{r,mn,u,l}$ extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio l–esimo dell'ambiente non climatizzato, mediato sul tempo, espresso in W;
- $b'_{tr,l,z}$ fattore di riduzione delle dispersioni per lo scambio termico verso l'ambiente non climatizzato;
- t è la durata del mese considerato o della frazione di mese espressa in Ms;
- $Q_{sol,op}$ sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti opachi, espressi in MJ.[36]

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione è definito come:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \tag{6.11}$$

dove:

- H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, espresso in W/K;
- H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno, espresso in W/K;
- H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati, espresso in W/K;
- H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso zone climatizzate a temperatura diversa, espresso in W/K;[37]

Nel caso studio si trascura lo scambio termico verso il terreno in quanto la zona termica non confina con esso.

Le Tabelle 6.16 e 6.17 riportano i calcoli effettuati per determinare il coefficiente di scambio termico per trasmissione H_D. Per i componenti opachi quest'ultimo è determinato con la

[36] UNI/TS 11300-1
[37] UNI/TS 11300-1

seguente formula:

$$H_D = \sum A \cdot U + \sum \psi \cdot l \tag{6.12}$$

Dove:

- A è l'area in m^2 del componente edilizio
- U è la trasmittanza (W/m^2 k) del componente definita nell'abaco delle strutture allegato alla relazione energetica;
- ψ è la trasmittanza lineare (W/m k) del ponte termico i-esimo;
- l è la lunghezza in metri del ponte termico i-esimo.

Sono trascurati i ponti termici puntuali. I valori di trasmittanza lineica considerati nei calcoli sono ricavati dall'Atlante nazionale dei ponti termici.

Per i componenti trasparenti il coefficiente di scambio termico per trasmissione si determina come:

$$U_{w,cor} = U_{w+shut} \cdot f_{shut} + U_w \cdot (1 - f_{shut}) \tag{6.13}$$

In cui:

- $U_{w,cor}$ è la trasmittanza del componente trasparente corretta per tener conto della chiusura oscurante;
- U_{w+shut} è la trasmittanza termica del componente trasparente e della chiusura oscurante;
- f_{shut} è la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, dovuta al tempo di utilizzo della chiusura oscurante;
- U_w è la trasmittanza della finestra che tiene conto del telaio, del vetro e dei ponti termici.

HD COEFFICIENTE DI PERDITA PER TRASMISSIONE VERSO ESTERNO DEI COMPONENTI OPACHI															
COMPONENETE	A	U	ψ (pilastro) (P5)	l (pilastro)	ψ (finestra) (W6)	l (finestra)	ψ (ang. concavo) (C1)	l (ang. concavo)	ψ (ang. convesso) (C5)	l (ang. convesso)	ψ (pilastro con angolo) (C17)	l (pilastro con angolo)	ψ (solaio) (IF1)	l (solaio) ()	HD
	[m^2]	[W/m^2K]	[W/mK]	[m]	[W/mK]	[m]	[W/mK]	[m]	[W/mK]	[m]	[W/mK]	[m]	[W/mK]	[m]	[W/K]
M. N/E	6,70	0,19	0,037	2,70	0,19	5,00	-0,10	2,70	0,03	0,00	0,04	-	0,03	6,12	2,23
M.S	2,37	0,19	0,037	-	0,19	7,80	-0,10	-	0,03	2,70	0,04	-	0,03	2,92	2,07
M.E	6,05	0,19	0,037	-	0,19	3,80	-0,10	-	0,03	0,00	0,04	2,70	0,03	5,06	2,11

Tabella 6.16. Calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra la zona termica considerata e l'esterno per i componenti opachi

Nella Tabella 6.16 per ogni valore di trasmittanza termica lineare è indicato, tra parentesi, il codice del ponte termico di riferimento come riportato nell'atlante nazionale.

Nella Tabella 6.17 sono riportate le seguenti informazioni:

- Area A_w dei componenti finestrati;
- Area Af dei telai delle finestre;
- Area Ag dei componenti vetrati delle finestre;
- Trasmittanza Ug dei vetri;
- Trasmittanza Uf dei telai;
- Trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico causato dall'interazione telaio-vetro;
- Perimetro dei componenti vetrati l;
- Trasmittanza termica del componente trasparente e della chiusura oscurante U_{w+shut} , calcolata come:

$$\frac{1}{\frac{1}{Uw}+\Delta R} \tag{6.14}$$

- Trasmittanza della finestra Uw come specificato nella formula 6.13;
- Resistenza termica aggiuntiva ΔR dovuta alla presenza degli schermi chiusi. Tale valore può essere definito in funzione della permeabilità

all'aria e della resistenza termica Rsh degli schermi secondo la formula:

$$\Delta R = 0{,}55 \cdot R_{sh} + 0{,}11 \quad (6.15)$$

- Resistenza termica dello schermo Rsh che varia con la tipologia e il materiale costituente della chiusura oscurante. In mancanza di informazioni più precise per la determinazione di tale parametro si è fatto riferimento Tabella B4 della UNI/TS 11300-1. Si è scelto il valore di riferimento per le chiusure avvolgibili in alluminio.
- Frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura f_{sh} posta uguale a 0,6, secondo la procedura semplificata indicata dalla UNI/TS 11300-1;
- Trasmittanza del componente trasparente corretta per tener conto della chiusura oscurante $U_{w,cor}$ calcolato come specificato con la formula 6.13;
- Coefficiente di perdita per trasmissione H_D di ciascuna finestra calcolato come prodotto di $U_{w,cor}$ per l'area A_W.

HD COEFFICIENTE DI PERDITA PER TRASMISSIONE VERSO ESTERNO DEI COMPONENTI VETRATI														
COMP.	A_w	Af	Ag	Ug	Uf	ψ	l	U_w	R_{sh}	ΔR	U_{w+shut}	fshut	$U_{w,corr}$	HD
	[m²]	[m²]	[m²]	[W/m²K]	[W/m²K]	[W/mK]	m	[W/m²K]	[m2K/W]	[m2K/W]	[W/m²K]		[W/m²K]	[W/K]
F. N/E	1,6	0,3	1,2	1	2,5	0,1	7,6	1,8	0,01	0,1	1,5	0,6	1,6	2,6
F. S	3,6	0,7	2,9	1	2,5	0,1	12,6	1,7	0,01	0,1	1,4	0,6	1,5	5,5
F.E	0,8	0,2	0,6	1	2,5	0,1	3,8	1,8	0,01	0,1	1,5	0,6	1,6	1,3

Tabella 6.17. Calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra la zona termica considerata e l'esterno per i componenti trasaprenti.

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione, H_U, tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno attraverso gli ambienti non climatizzati si ottiene come:

$$H_U = \sum_k U_k * A_k * b_{tr,U} \quad (6.16)$$

Il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato $b_{tr,U}$ si ottiene dagli stessi coefficienti utilizzati per il calcolo del fattore b'_{tr} introdotto nella determinazione degli apporti solari

entranti attraverso i componenti opachi $Q_{sol,op}$. I due fattori sono dipendenti l'uno dall'altro e determinabili attraverso le seguenti relazioni:

$$b'_{tr,I,z} = \frac{H_{iu,z}}{H_{iu}+H_{ue}} \tag{6.17}$$

$$b_{tr,U} = \frac{H_{ue}}{H_{iu}+H_{ue}} \tag{6.18}$$

I coefficienti H di scambio termico tra la zona termica considerata e l'ambiente non climatizzato (H_{iu}) e tra la zona non climatizzata e l'esterno (H_{ue}), sono ottenuti dalla somma del contributo di perdita per trasmissione e del contributo di perdita per ventilazione.

L'ambiente non climatizzato adiacente alla zona termica oggetto d'analisi è il corpo scale. Le tabelle sottostanti riportano i calcoli effettuati al fine di determinare i fattori di riduzione delle dispersioni.

Il coefficiente di perdita per ventilazione tra l'ambiente non climatizzato e l'esterno è ottenuto come prodotto della capacità termica volumica dell'aria pari a 1200 J/(m^3 K) per portata d'aria q in m^3/s. La portata d'aria q è a sua volta ottenuta come prodotto tra il volume dello spazio non riscaldato e il tasso convenzionale di ricambio d'aria per l'ambiente, come indicato dalla norma tecnica UNI EN ISO 13789:2001. Il tasso di ventilazione, tra lo spazio non riscaldato e l'esterno, è ricavato dal prospetto 1 della stessa norma e assunto pari a 0,5 1/h in riferimento ad ambienti con giunti ben sigillati e assenza di aperture di ventilazione.

Hv,ue	ρa*ca	n_{ue}	V_{ue}	q_{ue}	$H_{v,ue}$
	[J/m^3K]	[1/h]	[m^3]	[m^3/s]	[W/K]
	1200	0,5	492,13	0,07	82,02

Tabella 6.18. Determinazione del coefficiente di perdita per ventilazione tra l'ambiente non climatizzato e l'esterno.

Il coefficiente $H_{v,iu}$ tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non riscaldato è assunto pari a 0 come indicato al punto 5.4 della norma UNI EN ISO 13789:2001 al fine di, come specificato dalla stessa, non sottostimare le perdite di calore per trasmissione.

La Tabella 6.19 riporta il calcolato del coefficiente di perdita per trasmissione tra l'alloggio 1413A e il corpo scale basato sulla formula 6.12.

Htr,iu	A muro	U muro	A porta	U porta	Ψ*l (porta) (W11)	Ψ*l (intersezione muro solaio) (IF2)	Htr,iu
	[m2]	[W/m2K]	[m2]	[W/m2K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]
	7,16	0,45	1,89	1,83	0,24	3,75	10,64

Tabella 6.19 Calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e il corpo scale.

Per il calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra l'ambiente non climatizzato e l'esterno si è computato l'effetto sia dei componenti vetrati che di quelli opachi. I dati riportati nella Tabella 6.20 utilizzano la stessa nomenclatura utilizzata nella Tabella 6.17. Per il calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra le pareti del corpo scale e l'esterno si è fatto riferimento alla formula 6.12.

	A_w	Af	Ag	Ug	Uf	ψ	l	U_w	R_{sh}	ΔR	U_{w+shut}	fshut	$U_{w,corr}$	**Htr,ue**
Htr,ue	[m^2]	[m^2]	[m^2]	[W/m^2K]	[W/m^2K]	[W/mK]	m	[W/m^2K]	[m2K/W]	[m2K/W]	[W/m^2K]		[W/m^2K]	[W/K]
	5,46	1,09	4,37	1,00	2,50	0,11	18,80	1,68	0,00	0,00	1,68	0,00	1,68	9,17

Tabella 6.20. Calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra il corpo scale e l'esterno per componenti trasparenti.

	A muro	**U muro**	**A tetto**	**U tetto**	**Ψ*l (tetto) (R5)**	**Ψ*l (piano terra N.13) (GF 13)**	**Ψ*l (finestre) (W6)**	**Htr,ue**
Htr,ue	[m2]	[W/m2K]	[m2]	[W/m2K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]
	32,73	0,19	25,58	0,24	0,18	-0,69	3,48	15,26

Tabella 6.21. Calcolo del coefficiente di perdita per trasmissione tra il corpo scale e l'esterno per componenti opachi.

Nella Tabella 6.22. sono riportati i termini finali delle formule 6.16, 6.17 e 6.18 ottenuti dai 4 coefficienti sopra definiti.

Hiu [W/K]	10,64
Hue [W/K]	106,45
btr,u	0,91
b'tr,l	0,09
Hu [W/K]	9,68

Tabella 6.22. Fattori di riduzione degli scambi termici e coefficiente di perdita per trasmissione attraverso il locale non climatizzato.

Il fattore $b_{tr,u}$ calcolato risulta avere un valore molto elevato. Ad incrementare tale fattore è il coefficiente di scambio termico per ventilazione tra il corpo scale e l'esterno calcolato con la procedura semplificata sopra riportata. Un valore alto del termine $b_{tr,u}$ causa una sovrastima di H_U il quale a sua volta incrementa le perdite per trasmissione. Dato l'entità del valore di H_U si è ritenuto di non dover approfondire il calcolo nell'attuale fase del lavoro.

Essendo note le temperature interne di tutti gli appartamenti e locali adiacenti è possibile stimare le perdite per trasmissione attraverso le zone riscaldate a temperatura diversa H_A. Per il

calcolo di quest'ultimo coefficiente si è adottata la formula 6.16 utilizzata nel calcolo di H_U in cui il fattore b è stato determina come:

$$b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \tag{6.19}$$

In cui θ_i e θ_e sono rispettivamente la temperatura interna medio stagionale e la temperatura esterna medio stagionale e θ_a la temperatura medio stagionale del locale adiacente.

H_A COEFFICIENTE DI PERDITA PER TRASMISSIONE VERSO LOCALE CLIMATIZZATO A TEMPERATURE DIVERSE												
amb. a T diversa	A	U	Ψ (pilastro) (P5)	l (pilastro)	Ψ (ang. concavo) (C1 interno)	l (ang. concavo)	Hia	θint	θe	θa	b	H_A
	[m²]	[W/m²K]	[W/mK]	m	[W/mK]	m	[W/K]	[°C]	[°C]	[°C]		[W/K]
1414A	20,52	0,45	0,04	5,40	-0,10	2,70	9,08	21,78	8,33	21,83	0,00	-0,04
1412A	16,61	0,45	0,04	2,70	-0,10	2,70	7,24	21,78	8,33	21,94	-0,01	-0,09

	A Pav. bagno	U Pav. bagno	A Pav.	U Pav.	Hia	θint (N.13)	θe (N.13)	θa	b	HA
	[m2]	[W/m2K]	[m2]	[W/m2K]	[W/K]	[°C]	[°C]	[°C]		[W/K]
1423A	5,62	0,50	25,38	0,32	10,88	21,78	8,30	21,63	0,01	0,12
N1402A	5,62	0,50	25,38	0,32	10,88	21,78	8,30	15,04	0,50	5,44

Tabella 6.23. Calcolo delle perdite per trasmissione attraverso i locali riscaldati a temperatura diversa.

Per poter determinare l'incidenza delle perdite per trasmissione è necessario calcolare l'extralusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste. Il calcolo di quest'ultimo termine riguarda sia i componenti opachi che quelli trasparenti rivolti direttamente verso l'ambiente esterno secondo la formula 6.20.

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U \cdot A \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (6.20)$$

I termini dell'equazione 6.20 rappresentano rispettivamente:

- Φ_r l'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste;
- R_{se} la resistenza termica superficiale esterna del componente edilizio posta pari a 0,04 m^2 K/W come specificato da UNI EN ISO 6946;
- U la trasmittanza del componente in W/m^2K;
- A l'area del componente in m^2;
- h_r il coefficiente di scambio termico esterno per irraggiamento (W/m^2K) funzione dell'emissività della superficie esterna ε, della costante di Stefan-Boltzmann e della temperatura equivalente di corpo nero della volta celeste θ_{sky} calcolata, a sua volta, in funzione della pressione parziale del vapore d'acqua media mensile $p_{v,e}$ riportata nei dati di input;
- $\Delta\theta_{er}$ la differenza tra la temperatura esterna θ_e e la θ_{sky}.

Il fattore di forma del componente edilizio Fr introdotto con la formula 6.10 si calcola come:

$$F_r = F_{rsh,ob,d} \cdot \frac{1+cos\,\Sigma}{2} \quad (6.21)$$

In cui Σ pari a 90° per tutti i componenti del caso studio è l'angolo di inclinazione del componente edilizio sul piano orizzontale, mentre $F_{rsh,ob,d}$ è il fattore di ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa. Quest'ultimo coefficiente è calcolato come indicato dalla formula 6.7 in funzione dei dati riportati nell'Appendice D della UNI/TS 11300-1.

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i vari passaggi necessari al calcolo del prodotto di Φ_r per F_r per tutte le superfici esposte verso l'esterno dell'unità immobiliare 1413A e dell'adiacente zona non climatizzata. Nella tabella 6.24 sono riportati i fattori necessari al calcolo dell'extra flusso comuni per tutti i componenti edilizi, e nelle tabelle successive il risultato mensile del prodotto sopra specificato per ogni superficie considerata.

Mese	P_{ve} [Pa]	θ_{sky} [°C]	θ_e [°C]	$\Delta_{\theta er}$	hr [W/m²K]	R_{se} [m²K/W]
Gen	436,91	-15,34	1,72	17,06	3,58	0,04
Feb	865,36	-3,72	6,77	10,49	4,22	0,04
Mar	940,59	-2,14	12,96	15,10	4,41	0,04
Apr	1063,56	0,19	16,36	16,18	4,55	0,04
Mag	1395,70	5,22	19,14	13,92	4,74	0,04
Giu	2014,08	11,11	24,80	13,68	5,03	0,04
Lug	2227,45	12,44	28,40	15,96	5,16	0,04
Ago	2033,86	11,25	26,60	15,35	5,08	0,04
Set	1753,26	9,06	23,51	14,45	4,94	0,04
Ott	1230,60	2,93	13,57	10,64	4,54	0,04
Nov	869,15	-3,64	8,58	12,21	4,27	0,04
Dic	711,62	-7,33	3,93	11,26	4,08	0,04

Tabella 6.24. Calcolo dei termini comuni ad ogni componente necessari alla determinazione dell'extra flusso verso la volta celeste.

Finestra NORD / EST										
$U_{w,corr}$ [W/m2K]	A_w [m²]	U*A [W/K]	F_{hor}	F_{fin}	Fov	Fsh,ob	Σ [°]	Fr	$\Phi_{r,mn}$ [W]	Φr,mn*Fr [W]
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	6,27	3,13
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	4,54	2,27
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	6,82	3,41
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	7,54	3,77
1,64	1,56	2,56	2,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	6,76	3,38
1,64	1,56	2,56	3,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	7,06	3,53
1,64	1,56	2,56	4,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	8,44	4,22
1,64	1,56	2,56	5,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	8,00	4,00
1,64	1,56	2,56	6,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	7,32	3,66
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	4,96	2,48
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	5,35	2,67
1,64	1,56	2,56	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	4,71	2,35

Tabella 6.25. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per la finestra a nord/est.

Finestra SUD										
$U_{w,corr}$ [W/m2K]	A_w [m^2]	U*A [W/K]	F_{hor}	F_{fin}	Fov	Fsh,ob	∑ [°]	Fr	$\Phi_{r,mn}$ [W]	Φr,mn*Fr [W]
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	13,39	3,91
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	9,70	2,84
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	14,57	4,26
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	16,10	4,71
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	14,43	4,22
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	15,07	4,40
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	18,03	5,27
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	17,08	4,99
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	15,64	4,57
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	10,58	3,09
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	11,41	3,34
1,52	3,60	5,47	1,00	0,87	0,67	0,58	90,00	0,29	10,05	2,94

Tabella 6.26. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per la finestra a sud.

Finestra EST										
$U_{w,corr}$ [W/m2K]	A_w [m^2]	U*A [W/K]	F_{hor}	F_{fin}	Fov	Fsh,ob	∑ [°]	Fr	$\Phi_{r,mn}$ [W]	Φr,mn*Fr [W]
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,13	0,82
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	2,27	0,59
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,41	0,89
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,77	0,98
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,38	0,88
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,53	0,92
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	4,22	1,10
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	4,00	1,04
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	3,66	0,95
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	2,48	0,64
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	2,67	0,69
1,64	0,78	1,28	1,00	0,80	0,65	0,52	90,00	0,26	2,35	0,61

Tabella 6.27. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per la finestra a est.

INVOLUCRO OPACO FRONTE NORD/EST					
U*A [W/K]	$\Phi_{r,mn}$ [W]	$F_{sh,ob}$	∑ [°]	F_r	$\Phi_{r,mn}$ *F_r [W]
1,29	3,15	1,00	90,00	0,50	1,57
1,29	2,28	1,00	90,00	0,50	1,14
1,29	3,43	1,00	90,00	0,50	1,71
1,29	3,78	1,00	90,00	0,50	1,89
1,29	3,39	1,00	90,00	0,50	1,70
1,29	3,54	1,00	90,00	0,50	1,77
1,29	4,24	1,00	90,00	0,50	2,12
1,29	4,02	1,00	90,00	0,50	2,01
1,29	3,68	1,00	90,00	0,50	1,84
1,29	2,49	1,00	90,00	0,50	1,24
1,29	2,68	1,00	90,00	0,50	1,34
1,29	2,36	1,00	90,00	0,50	1,18

Tabella 6.28. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per il muro rivolto a nord-est.

INVOLUCRO OPACO FRONTE SUD					
U*A [W/K]	$\Phi_{r,mn}$ [W]	$F_{sh,ob}$	∑ [°]	F_r	$\Phi_{r,mn}$ *F_r [W]
0,45	1,11	0,65	90,00	0,33	0,36
0,45	0,81	0,65	90,00	0,33	0,26
0,45	1,21	0,65	90,00	0,33	0,39
0,45	1,34	0,65	90,00	0,33	0,43
0,45	1,20	0,65	90,00	0,33	0,39
0,45	1,25	0,65	90,00	0,33	0,41
0,45	1,50	0,65	90,00	0,33	0,49
0,45	1,42	0,65	90,00	0,33	0,46
0,45	1,30	0,65	90,00	0,33	0,42
0,45	0,88	0,65	90,00	0,33	0,29
0,45	0,95	0,65	90,00	0,33	0,31
0,45	0,83	0,65	90,00	0,33	0,27

Tabella 6.29. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per il muro rivolto a sud.

INVOLUCRO OPACO FRONTE EST					
U*A [W/K]	$\Phi_{r,mn}$ [W]	$F_{sh,ob}$	∑ [°]	F_r	$\Phi_{r,mn}$ *F_r [W]
1,16	2,84	0,65	90,00	0,33	0,92
1,16	2,06	0,65	90,00	0,33	0,67
1,16	3,09	0,65	90,00	0,33	1,01
1,16	3,42	0,65	90,00	0,33	1,11
1,16	3,06	0,65	90,00	0,33	1,00
1,16	3,20	0,65	90,00	0,33	1,04
1,16	3,83	0,65	90,00	0,33	1,24
1,16	3,63	0,65	90,00	0,33	1,18
1,16	3,32	0,65	90,00	0,33	1,08
1,16	2,25	0,65	90,00	0,33	0,73
1,16	2,42	0,65	90,00	0,33	0,79
1,16	2,13	0,65	90,00	0,33	0,69

Tabella 6.30. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per il muro rivolto a est.

Finestre SUD corpo scale										
$U_{w,corr}$ [W/m2K]	A_w [m^2]	U*A [W/K]	F_{hor}	F_{fin}	Fov	Fsh,ob	∑ [°]	Fr	$\Phi_{r,mn}$ [W]	Φr,mn*Fr [W]
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	22,42	11,21
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	16,24	8,12
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	24,40	12,20
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	26,96	13,48
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	24,17	12,09
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	25,23	12,62
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	30,19	15,10
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	28,60	14,30
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	26,19	13,09
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	17,72	8,86
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	19,12	9,56
1,68	5,46	9,17	1,00	1,00	1,00	1,00	90,00	0,50	16,83	8,42

Tabella 6.31. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per le finestre del corpo scala poste a sud.

INVOLUCRO OPACO FRONTE SUD					
U*A [W/K]	$\Phi_{r,mn}$ [W]	$F_{sh,ob}$	Σ [°]	F_r	$\Phi_{r,mn} * F_r$ [W]
6,28	15,37	1,00	90,00	0,50	7,69
6,28	11,14	1,00	90,00	0,50	5,57
6,28	16,73	1,00	90,00	0,50	8,37
6,28	18,48	1,00	90,00	0,50	9,24
6,28	16,57	1,00	90,00	0,50	8,29
6,28	17,30	1,00	90,00	0,50	8,65
6,28	20,70	1,00	90,00	0,50	10,35
6,28	19,61	1,00	90,00	0,50	9,81
6,28	17,95	1,00	90,00	0,50	8,98
6,28	12,15	1,00	90,00	0,50	6,07
6,28	13,11	1,00	90,00	0,50	6,55
6,28	11,54	1,00	90,00	0,50	5,77

Tabella 6.32. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per il muro del corpo scale posto a sud.

INVOLUCRO OPACO COPERUTRA					
U*A [W/K]	$\Phi_{r,mn}$ [W]	$F_{sh,ob}$	Σ [°]	F_r	$\Phi_{r,mn} * F_r$ [W]
6,01	14,70	1,00	90,00	0,50	7,35
6,01	10,65	1,00	90,00	0,50	5,33
6,01	16,00	1,00	90,00	0,50	8,00
6,01	17,68	1,00	90,00	0,50	8,84
6,01	15,85	1,00	90,00	0,50	7,93
6,01	16,55	1,00	90,00	0,50	8,27
6,01	19,80	1,00	90,00	0,50	9,90
6,01	18,76	1,00	90,00	0,50	9,38
6,01	17,17	1,00	90,00	0,50	8,59
6,01	11,62	1,00	90,00	0,50	5,81
6,01	12,53	1,00	90,00	0,50	6,27
6,01	11,04	1,00	90,00	0,50	5,52

Tabella 6.33. Calcolo del prodotto di extra flusso verso la volta celeste per fattore di forma per la copertura del corpo scale.

Nella Tabella 6.34 sono riportati i dati mensili di perdi per trasmissione calcolati secondo la formula 6.10 grazie ai fattori sopra trattati.

$Q_{H,tr}$									
mese	t [Ms]	$\theta_{i,set\ point}$ [°c]	θ_e [°c]	$H_{tr\ adj}$ [W/K]	$\Sigma F_r * \Phi_{r,mn}$ [W]	$\Sigma (b'tr,l * F_r * \Phi_{r,mn,U})$ [W]	$Q_{sol,op}$ [MJ]	$Q_{H,tr}$ [MJ]	QH,tr [kWh]
gen	2,68	21,54	1,72	30,85	10,72	2,39	7,96	1663,87	462,19
feb	2,42	21,53	6,77	30,85	7,77	1,73	5,65	1118,47	310,69
mar	2,68	22,01	12,96	30,85	11,67	2,60	12,66	773,70	214,92
apr	2,59	21,45	16,36	30,85	12,89	2,87	13,70	433,75	120,48
mag	2,68	21,66	19,14	30,85	11,56	2,57	18,01	227,80	63,28
giu	2,59	23,36	24,80	30,85	12,07	2,68	23,74	-100,64	-27,96
lug	2,68	24,56	28,40	30,85	14,44	3,21	33,22	-303,06	-84,18
ago	2,68	24,52	26,60	30,85	13,68	3,04	34,93	-162,06	-45,02
sett	2,59	24,02	23,51	30,85	12,52	2,79	29,27	51,07	14,19
ott	2,68	21,27	13,57	30,85	8,47	1,89	17,36	647,22	179,78
nov	2,59	21,95	8,58	30,85	9,14	2,03	4,25	1094,19	303,94
dic	2,68	22,04	3,93	30,85	8,05	1,79	5,41	1516,61	421,28

Tabella 6.34. Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento.

Come visibile nella Tabella 6.34 per i mesi estivi di giugno, luglio e agosto gli scambi di energia termica per trasmissione hanno segno negativo. Il segno negativo denota che il flusso di calore è diretto dall'ambiente esterno verso l'ambiente interno.

Per ogni mese o frazione di mese, gli scambi di energia termica per ventilazione sono determinati con la seguente equazione:

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e)t \tag{6.22}$$

Dove:

- $H_{ve,adj}$ coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno espresso in W/K;
- $\theta_{int,set,H}$ temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata, espressa in °C;
- θ_e temperatura esterna media del mese considerato o della frazione di mese, espressa in °C;
- t è la durata del mese considerato o della frazione di mese, espressa in Ms;

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione è ricavato con la seguente

equazione:

$$H_{ve,adj} = \rho_a * c_a * (\sum_k b_{ve} * q_{ve,k,mn}) \quad (6.23)$$

- $\rho_a * c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria pari a 1200 (J/m^3*K);
- $q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo, espressa in m^3/s;
- $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo in ventilazione naturale. Dato che tutte le unità immobiliari sono servita da un sistema di ventilazione meccanica b_{ve} è posto pari a 1. [38]

Per il calcolo della portata di aria medita nel tempo si è adottata la formula generale definita dalla 11300-1 al paragrafo 12.1. Questa permette di tener conto di: una quota di ventilazione dovuta all'impianto meccanico e alle infiltrazioni d'aria durante il suo funzionamento; una quota di ventilazione naturale dovuta all'apertura delle finestre più le infiltrazioni d'aria durante lo spegnimento degli impianti.

$$q_{ve,k,mn} = \underbrace{\left(\overline{q_{ve,0}} + \overline{q'_{ve,x}}\right) \cdot (1 - \beta_k)}_{\text{Impianto spento}} + \underbrace{(q_{ve,f} \cdot b_{ve} \cdot FC_{ve} + \overline{q_{ve,x}}) \cdot \beta_k}_{\text{Impianto acceso}} \quad (6.24)$$

I vari termini che compaiono nella 6.24 hanno il seguente significato:

- $q_{ve,k,mn}$ è la portata media equivalente di ventilazione;
- $\overline{q_{ve,0}}$ è la portata media giornaliera di ventilazione naturale;
- $\overline{q'_{ve,x}}$ è la portata di ventilazione dovuta all'effetto del vento;
- β_k è la frazione di tempo in cui l'impianto di ventilazione meccanica è acceso;
- $q_{ve,f}$ è la portata nominale dell'impianto di ventilazione meccanica;
- b_{ve} è il fattore di correzione della temperatura dipendente dalla tipologia di ventilazione
- FC_{ve} è il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica;
- $\overline{q_{ve,x}}$ è la portata delle infiltrazioni con ventilazione meccanica funzionante.

[38] UNI/TS 11300-1

L'utilizzo della formula 6.24 permette di simulare la risposta delle perdite per ventilazione al variare della percentuale di funzionamento dell'impianto meccanico β_k. Quando quest'ultimo termine assume valore 0 interviene solo il contributo della ventilazione naturale, al contrario quando assume valore 1 si presuppone che la portata d'aria introdotta nell'edifico sia dovuta all'impianto meccanico ed alle infiltrazioni involontarie in ambiente.

Se si considera la reale condizione operativa dell'impianto di ventilazione meccanica, ovvero funzionamento continuo e si presume l'assenza di ventilazione naturale volontaria tramite apertura delle finestre, si può porre perciò il fattore β_k uguale a 1. In tali condizioni rimangono solo da calcolare i termini del secondo addendo della formula 6.24, in quanto il primo termine si annulla. Il fattore di correzione FC_{ve} può anch'esso essere posto pari a 1. Non sono infatti presenti sistemi di regolazione dell'impianto, che permettano il controllo della portata d'aria di ventilazione, in funzione del tasso di occupazione.

Il fattore $b_{ve,k}$ è calcolato come rapporto fra la differenza di temperatura $\theta_{int} - \theta_{sup}$ e la differenza $\theta_{int} - \theta_e$, dove θ_{sup} è la reale temperatura di immissione dell'aria in ambiente dall'impianto di ventilazione meccanica.

La formula per determinare la portata di infiltrazione in condizioni di operatività dell'impianto meccanico è funzione di tre parametri tabulati, del volume, di $\overline{q'_{ve,x}}$ e delle portate d'aria del sistema di immissione e di estrazione ($q_{ve,sup}$ e $q_{ve,ext}$).

qve,sup	qve,ext	V	f	n50	e	qve,x
[m3/s]	[m3/s]	[m3]	[-]	[1/h]	[-]	[m3/s]
0,014	0,020	85,78	20,00	8,00	0,02	0,002

Tabella 6.35. Portata di ventilazione dovuta alle infiltrazioni durante il funzionamento dell'impianto di climatizzazione meccanica

Per quanto riguarda la portata nominale dell'impianto di ventilazione meccanica la UNI/TS 11300-1 al punto 12.3.2 specifica di assumere per tale termine il valore massimo tra la portata di esercizio in condizioni di progetto e la portata minima di aria esterna $q_{ve,0}$. La relazione energetica specifica che il ricambio d'aria dell'alloggio 1413A è paria 0,6 volumi all'ora, pari a 0,0143 m^3/s. Mentre dal calcolo della portata minima di progetto si ottiene un valore di 0.027 m^3/s. Se si assume perciò $q_{ve,f}$ paria a 0,027 m^3/s si ottengono le perdite di energia termica per ventilazione specificate nella Tabella 3.36.

Hve,adj	mese	giorni	t	θint,set	θe	QH,ve		
[W/K]		gg	[Ms]	[°C]	[°C]	[MJ]	[kWh]	[kWh/mq]
4,80	gen-17	31,00	2,68	21,54	1,72	254,70	70,75	2,23
5,74	feb-17	28,00	2,42	21,53	6,77	204,86	56,91	1,79
10,01	mar-17	31,00	2,68	22,01	12,96	242,81	67,45	2,12
12,43	apr-17	30,00	2,59	21,45	16,36	163,85	45,51	1,43
-11,33	mag-16	31,00	2,68	21,66	19,14	-76,37	-21,21	-0,67
-25,56	giu-16	30,00	2,59	23,36	24,80	95,40	26,50	0,83
-16,96	lug-16	31,00	2,68	24,56	28,40	174,40	48,45	1,52
-48,78	ago-16	31,00	2,68	24,52	26,60	271,87	75,52	2,38
186,90	set-16	30,00	2,59	24,02	23,51	246,31	68,42	2,15
-0,02	ott-16	31,00	2,68	21,27	13,57	-0,50	-0,14	0,00
1,08	nov-16	30,00	2,59	21,95	8,58	37,34	10,37	0,33
4,06	dic-16	31,00	2,68	22,04	3,93	196,83	54,67	1,72
							somma	15,84

Tabella 6.36. Scambio di energia termica per ventilazione.

Dai dati di perdita di energia termica in kWh/m^2 riportati nella tabella 3.36 appare evidente che, secondo la procedura di calcolo adottata, risulta una ridotta influenza delle perdite per ventilazione sul fabbisogno energetico per il riscaldamento. Ciò per via della ridotta differenza fra la temperatura interna e la temperatura di immissione dell'aria. Questa differenza entra in gioco nel calcolo del fattore b_{ve} e ne riduce notevolmente il valore. Quest'ultimo fattore, a sua volta, va a correggere l'ammontare della portata mediata nel tempo al fine di poter tener conto, nel calcolo del coefficiente di perdita H_{ve}, del valore della temperatura esterna. La temperatura θ_{sup} risulta notevolmente alta e superiore al valore previsto a progetto per i mesi compresi tra giugno e dicembre 2016. Per ottobre e novembre la sua media mensile risulta superiore al correlato valore di θ_i, ne segue che il fattore b_{ve} risulta negativo per quest'ultimi mesi.

Mese	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-16	giu-16	lug-16	ago-16	set-16	ott-16	nov-16	dic-16
bve,	0,08	0,11	0,24	0,31	-0,42	-0,85	-0,59	-1,57	5,67	-0,07	-0,04	0,06

Tabella 6.37. Fattore di riduzione della temperatura.

Un valore di b_{ve} negativo può essere causa di portate $q_{ve,k,mn}$ negative. Un valore di portata negativa non deve essere interpretato come volume d'aria che viene sottratta dall'ambiente nell'unità di tempo. Il segno negativo, correlato al valore della portata mediata nel tempo, va interpretato alla luce del suo prodotto con la differenza di temperature fra interno ed esterno: si traduce così in un guadagno di energia termica che va a sgravare la quota di fabbisogno a carico

delle due PdC, o in generale del sistema di generazione del calore. Tuttavia, per il mese di ottobre, il fattore b_{ve} assume in modulo un valore così basso che il suo prodotto con la portata nominale di ventilazione $q_{ve,f}$ viene assorbito dal valore positivo della portata d'aria per infiltrazione. Per tale mesi la quota di perdita per ventilazione $Q_{H,ve}$, necessaria al ricambio d'aria all'interno dell'alloggio per questioni di igiene, è totalmente a carico dell'impianto di ventilazione meccanica, il quale copre perdi più anche una parte della perdita di energia termica dovuta all'involontaria infiltrazione d'aria in ambiente. Il valore dello scambio di energia termica per ventilazione di novembre assume invece un valore negativo. Per tale mese l'aria immessa in ambiente dall'impianto di ventilazione meccanica, oltre a coprire totalmente le perdite per ventilazione, è tale da coprire anche parte delle perdite per trasmissione ai fini del calcolo del fabbisogno. Nella realtà ciò potrebbe tradursi in un aumento indesiderato della temperatura interna.

Come precedentemente spiegato, sulla base della formula 6.24, variando il fattore β_k è possibile studiare l'incidenza della portata d'aria, introdotta in ambiente tramite l'impianto di ventilazione meccanica, sullo fattore di perdita di energia termica $Q_{H,ve}$. In altre parole è possibile stimare il risparmio energetico dovuto all'introduzione in ambiente di aria surriscaldata.

βk	0	0,3	0,5	0,7	1
Qh,ve gen-17	460%	322%	230%	138%	0%
Qh,ve feb-17	382%	267%	191%	115%	0%
Qh,ve mar-17	196%	137%	98%	59%	0%
Qh,ve apr-17	143%	100%	71%	43%	0%
Qh,ve mag-16	-418%	-292%	-209%	-125%	0%
Qh,ve giu-16	-233%	-163%	-117%	-70%	0%
Qh,ve lug-16	-305%	-214%	-153%	-92%	0%
Qh,ve ago-16	-168%	-118%	-84%	-51%	0%
Qh,ve set-16	-83%	-58%	-41%	-25%	0%
Qh,ve ott-16	3115%	2181%	1558%	935%	0%
Qh,ve nov-16	1443%	1010%	722%	433%	0%
Qh,ve dic-16	541%	379%	270%	162%	0%
Media	897%	628%	449%	269%	0%

Tabelle 6.38. Calcolo incidenza della portata d'aria dovuta alla ventilazione meccanica sul fattore di perdita per ventilazione $Q_{H,ve}$.

La media riportata nella tabella 3.38. è calcolata per i soli valori riferiti ai mesi compresi

nella stagione di riscaldamento.

Per poter svolgere l'equazione riportata con la formula 6.1 è necessario ancora definire il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti.

Il suo calcolo è sviluppato per i soli mesi della stagione di riscaldamento. Dato che l'obbiettivo del presente paragrafo è il confronto del fabbisogno di energia termica teorico con il reale consumo misurato nel medesimo periodo, compreso tra il 15 ottobre e il 15 aprile, non risulta necessario definire il primo ed l'ultimo giorno della stagione di riscaldamento (in funzione del rapporto apporti – dispersioni) come definito dalla UNI/TS 11300-1 al punto 10.1.

I due mesi estremi dalla stagione di riscaldamento sono troncati al giorno 15 e per tali frazioni di mese si fa riferimento ai dati climatici medi nel rispettivo periodo riportati nella Tabella 6.1.

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici, nel calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento, è definito come:

$$se\,\gamma_H > 0 \;\; e\,\gamma_H \neq 1 : \eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H\text{^}(a_H)}{1-\gamma_H\text{^}(a_{H+1})} \tag{6.25}$$

$$se\,\gamma_H = 1 : \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \tag{6.26}$$

In cui γ_H è uguale al rapporto adimensionale apporti-dispersioni, mentre a_h è un parametro numerico adimensionale dipendente dalla costante di tempo τ (h).[39]

CALCOLO DEL FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEI APPORTI												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	sett	ott	nov	dic
$t_{H,troncato}$ [Ms]	2,68	2,42	2,68	1,30	-	-	-	-	-	1,47	2,59	2,68
$Q_{H,tr}$ [MJ]	1663,8	1118,47	773,70	182,87						369,69	1094,19	1516,6
$Q_{H,ve}$ [MJ]	254,70	204,86	242,81	100,71						-16,00	37,34	196,83
Q_{int} [MJ]	630,04	569,07	630,04	304,86						345,51	609,72	630,04
$Q_{sol,w}$ [MJ]	246,16	149,51	281,05	166,23						76,37	114,25	157,46
γ_H	0,46	0,54	0,90	1,66						1,19	0,64	0,46
τ [h]	54,96	53,55	47,95	39,98						66,43	61,37	56,12
a_H	4,66	4,57	4,20	3,67						5,43	5,09	4,74
$\eta_{H,gn}$	0,99	0,97	0,85	0,56						0,76	0,96	0,99

Tabella 6.39. Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica.

[39] UNI/EN ISO 11300-1

Nella Tabella 3.39. sono facilmente confrontabili i valori mensili dei quattro termini che entrano in gioco nella determinazione del fabbisogno ideale di energia: le perdite per dispersione e trasmissione e gli apporti interni e solari. Come prevedibile, dato che gli alloggi beneficiano di un sistema di ventilazione meccanica, che immette in ambiente aria a temperature prossime a quelle di comfort, la quota di perdite dovuta alla trasmissione è, salvo aprile, di molto maggiore della quota dovuta alla ventilazione. Per quanto riguarda i restanti due termini risulta predominante per tutti i mesi il valore relativo agli apporti interni. Bisogna ricordare che il calcolo effettuate per la determinazione degli apporti interni è l'unico che non usufruisce di dati di input reali: ne segue un risultato non è specifico del mese per cui è stato calcolato e soggetto a difformità rispetto al valore reale.

FABBISOGNO IDEALE DI ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO								
	Gen/17	Feb/17	Mar/17	Apr/17	Ott/16	Nov/16	Dic/16	SOMMA
$Q_{H,nd}$ [MJ]	1.054,83	625,61	242,97	19,38	32,38	436,30	936,73	3.348,20
$Q_{H,nd}$ [kWh]	293,01	173,78	67,49	5,38	8,99	121,19	260,20	930,06
$Q_{H,nd}$ [kWh/m²a]	9,22	5,47	2,12	0,17	0,28	3,81	8,19	29,27

Tabella 6.40. Fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento

Dato che la misura del consumo di energia termica avviene in corrispondenza dello stacco dal circuito primario delle tubazioni in ingresso in ciascuna unità immobiliare, per poter effettuare un confronto tra i valori forniti dal BEMS e i valori teorici, si deve tener conto di alcuni fattori negativi influenti il fabbisogno ideale $Q_{H,nd}$. Il fabbisogno ideale non tiene infatti conto di:

- Maggiori perdite verso l'esterno dovute ad una distribuzione non uniforme della temperatura dell'aria all'interno della zona riscaldata;
- Scambio di energia termica verso l'ambiente esterno attuato per conduzione e/o irraggiamento dai terminali del sistema di emissione;
- Maggiori perdite dovute ad un'imperfetta regolazione (oscillazione della temperatura mantenuta all'interno dello spazio riscaldato attorno al valore di set-point);
- Eventuale mancato sfruttamento degli apporti gratuiti conteggiati nel calcolo i quali, anziché ridurre le perdite di energia termica, si traducono in maggiori temperature ambiente;
- Trasformazione in calore dell'energia elettrica impegnata nelle unità

terminali.

Questi fattori di influenza sul consumo ideali di energia definiscono il rendimento dei sistemi di emissione e di regolazione installati nella zona. Il fabbisogno ideale così corretto viene detto fabbisogno di energia termica utile effettiva.

Le due percentuali di rendimento sono ricavati dai prospetti 17 e 20 della UNI/TS 11300-2 considerando i seguenti dati:

- Locale di altezza inferiore a 4m;
- Pannelli annegati a pavimento;
- Carico termico medio annuo minore di 4 W/m^2;
- Fattore correttivo del rendimento di emissione fj pari a 0.93;
- Regolazione di tipo climatica in sotto-centrale e on/off nell'alloggio;
- Pannelli annegati nelle strutture e disaccoppiati termicamente;

Ne segue un rendimento di emissione pari a 0.92 e un rendimento di regolazione pari a 0.94.

Nella seguente tabelle sono riportate le seguenti informazioni:

- Fabbisogno ideale di energia in kWh;
- Le perdite del sottosistema di emissione $Q_{l,e}$ in kWh;
- Le perdite del sottosistema di regolazione $Q_{l,re}$ in kWh;
- Il fabbisogno utile effettivo di energia termica $Q_{hr,i}$, dato dalla somma dei tre termini sopra riportati, in kWh.

	Gen/17	Feb/17	Mar/17	Apr/17	Ott/16	Nov/16	Dic/16	SOMMA
Qh,nd [kWh]	293,01	173,78	67,49	5,38	8,99	121,19	260,20	930,06
Ql,e [kWh]	24,43	14,49	5,63	0,45	0,75	10,11	21,70	77,55
Ql,re [kWh]	20,26	12,02	4,67	0,37	0,62	8,38	17,99	64,32
Qhr,i [kWh]	337,70	200,29	77,79	6,21	10,37	139,68	299,90	1.071,93
Qhr,i [kWh/m^{2}a]	10,63	6,30	2,45	0,20	0,33	4,40	9,44	33,74

Tabella 6.41 Fabbisogno effettivo di energia termica

I valori ricavati nella Tabella 3.41 possono essere confrontati con i reali valori di consumo misurati mese per mese nell'alloggio 1413A.

	Gen/17	Feb/17	Mar/17	Apr/17	Ott/16	Nov/16	Dic/16	SOMMA
Qhr,i [kWh]	337,70	200,29	77,79	6,21	10,37	139,68	299,90	1.071,93
Qhr,i [kWh/m2a]	10,63	6,30	2,45	0,20	0,33	4,40	9,44	33,74
Eth [kWh]	776	556	394	56	25,00	490	761	3.058,00
Eth [kWh/mq]	24,43	17,50	12,40	1,76	0,79	15,42	23,95	96,25
GAP	130%	178%	407%	802%	141%	251%	154%	185%

Tabella 6.42. Confronto valori di consumo misurati e valori calcolati con metodo UNI/TS 11300

Dal confronto in tabella 3.42 appare evidente una notevole divergenza tra i valori calcolati e quelli misurati. Il valore di consumo misurato nella stagione 2016/2017 è circa tre volte superiore al fabbisogno calcolato utilizzando reali dati di input. Il Gap indica quante volte, in percentuale, il consumo ETh è maggiore del fabbisogno $Q_{hr,i}$ rispetto a quest'ultimo valore.

Se si normalizzano le due serie di dati si nota una buona approssimazione dell'andamento del fabbisogno di energia termica mensile calcolato all'andamento del consumo misurato. Nei seguenti grafici sono visibili i profili dei valori mensili di consumo di energia termica normalizzati sia nell'intervallo 0-1, che rispetto alla deviazione standard secondo le seguenti formule:

$$\bar{v}(i) = \frac{v(i) - MIN(v(i))}{MAX(v(i)) - MIN(v(i))} \tag{6.27}$$

$$\bar{v}(i) = \frac{v(i) - mean(v(i))}{sd(v(i))} \tag{6.28}$$

Dove:

- $\bar{v}(i)$ è il valore normalizzato;
- v(i) è il singolo valore;
- $MIN(v(i))$ è il minimo di ogni serie di valori;
- $MAX(v(i))$ è il massimo di ogni serie di valori;
- $sd(v(i))$ è la deviazione standard della serie di valori;
- $mean(v(i))$ è la media della serie di valori.

Al profilo di consumo mensile di energia termica per riscaldamento misurato nell'alloggio 1413A e a quello calcolato per la stessa unità immobiliare, sono confrontati anche i profili di

consumo degli alloggi appartenenti alla stessa tipologia, ovvero 1423A, 1433A, 1443A.

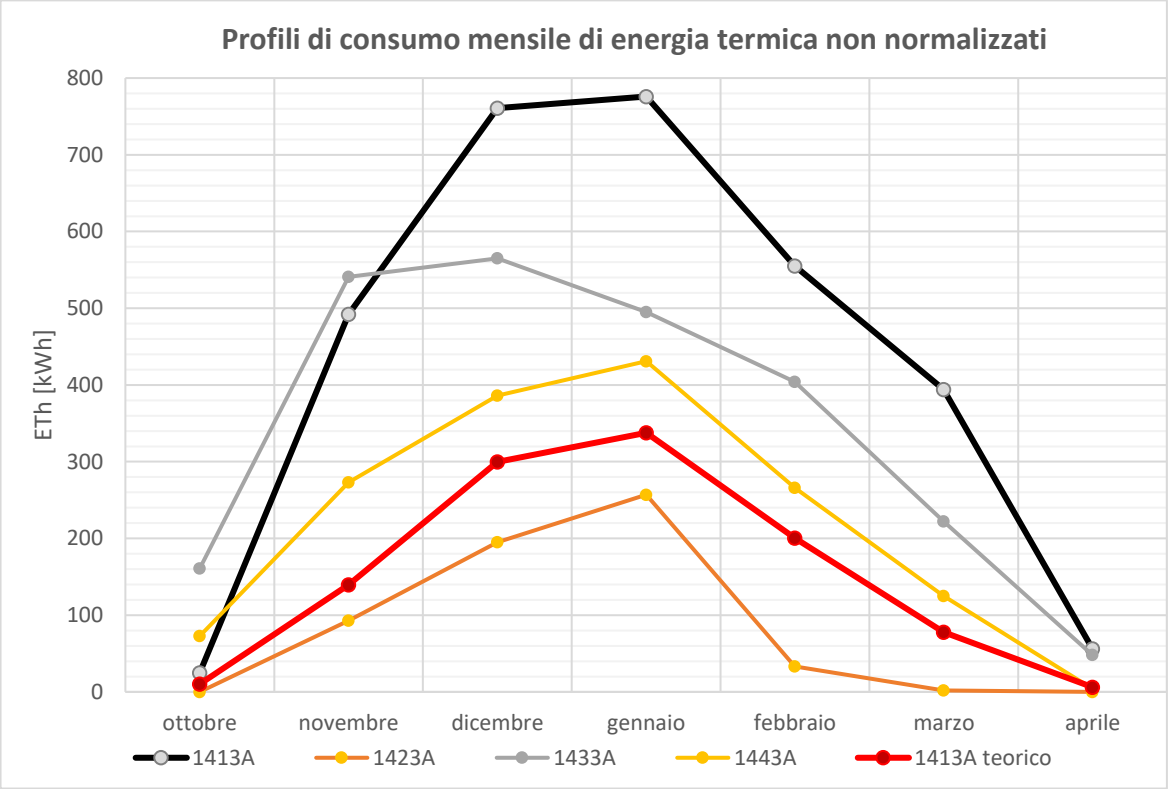


Figura 6.7. Profili di consumo di consumo mensile di energia termica non normalizzati

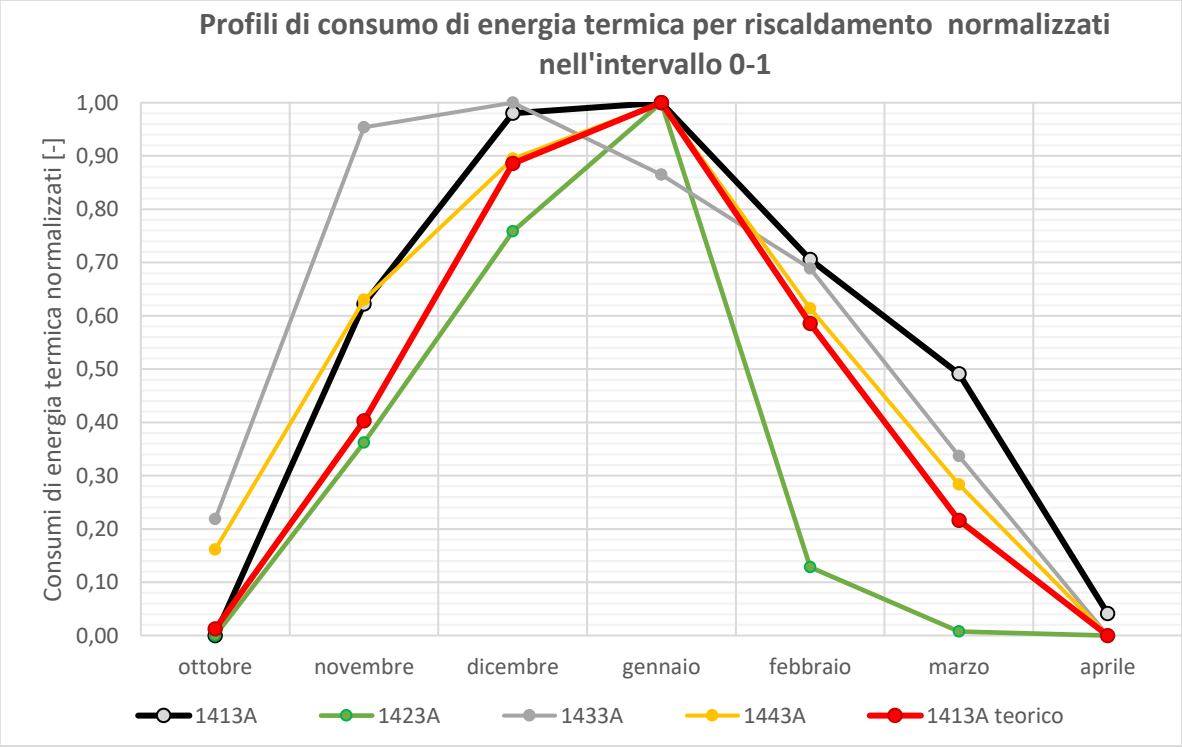


Figura 6.8. Profili di consumo di consumo di energia termica normalizzati nell'intervallo 0-1.

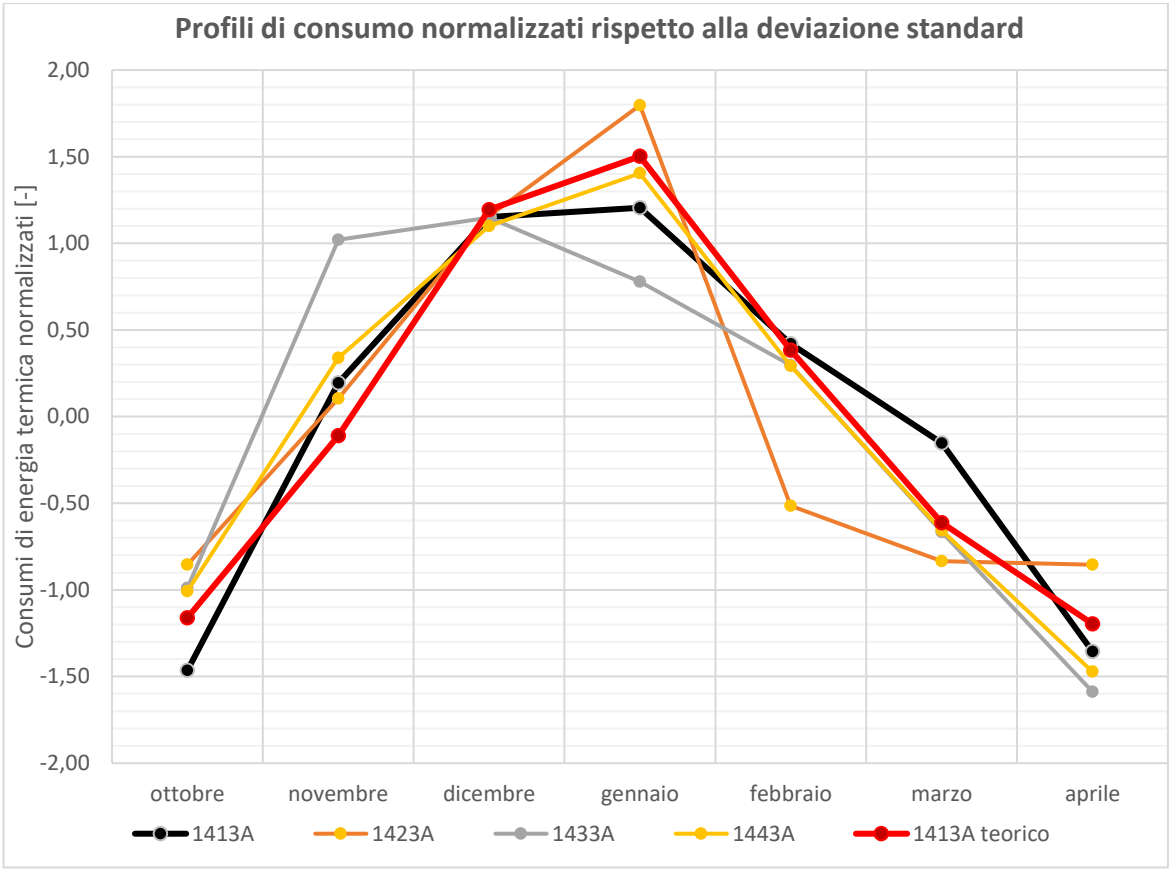


Figura 6.9. Profili di consumo di consumo di energia termica normalizzati rispetto alla deviazione standard.

I valori di consumo correlati ad ottobre e aprile, riportati nei grafici soprastanti, sono relativi alla sola frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento.

Le curve dei grafici riportati nelle figure 6.8 e 6.9 hanno andamenti molto simili, salvo per due punti relativi all'alloggio 1433A e uno per l'alloggio 1423A. La maggior affinità con la curva del fabbisogno mensile calcolato è raggiunta dal profilo di consumo dell'alloggio 1443A. Come visibile dal grafico in Figura 6.7 quest'ultimo ha anche valori assoluti di consumo ETh molto simili (solo di poco superiori) ai valori di $Q_{hr,i}$ calcolati per l'alloggio 1413A. Analizzando il tipo di regolazione dei terminali di impianto attuata dal locatario dell'alloggio 1443A è emerso che, diversamente dall'alloggio 1413A dove è stato impostato un unico set-point di temperatura fisso e costante per l'intera stagione pari a 22 °C, sono stati impostati diversi set-point nell'arco della giornata, con un'attenuazione del set point nelle ore notturne, come di seguito specificato:

- Dalle 22:00 alle 8:00 → 16°C
- Dalle 8:00 alle 11:00 → 21°C
- Dalle 11:00 20:00 → 20°C

- Dalle 20:00 alle 22:00 → 21°C

La media risultante del set-point di temperatura nella stagione di riscaldamento per l'alloggio 1443A è 18.5°C. Nonostante la temperatura interna media stagionale risultante nell'alloggio 1413A (pari a 21,78°C) sia molto simile a quella dell'alloggio 1443A (pari a 21,11°C), il set point medio stagionale impostato all'interno di quest'ultimo alloggio è di molto inferiore a quello fissato nell'alloggio 1413A.

Il risultato del confronto fra i profili può validare il modello di calcolo impostato, ma la divergenza fra i risultati ottenuti e i reali valori di consumo di energia termica è notevole. Ciò potrebbe essere spiegato ipotizzando che i dati di input utilizzati non approssimano correttamente le reali condizioni dell'alloggio.

6.2. Analisi di sensibilità

Al fine di individuare l'incidenza dei vari parametri di input, utilizzati nel modello di calcolo, sul fabbisogno di energia termica per riscaldamento è stata impostata un'analisi di sensibilità.

L'analisi di sensibilità permette di indagare la relazione che sussiste tra la soluzione finale del calcolo e i dati iniziali. È possibile in questo modo determinare:

- La robustezza del modello di calcolo;
- La perturbazione dei dati iniziali sul risultato del calcolo;
- L'effetto di un errore nei parametri di input sul fabbisogno di energia termica effettiva per il riscaldamento.

L'analisi è eseguita utilizzando il modello illustrato nel precedente paragrafo e alcuni dati di input relativi all'alloggio 1413A nella stagione di riscaldamento 2016/2017.

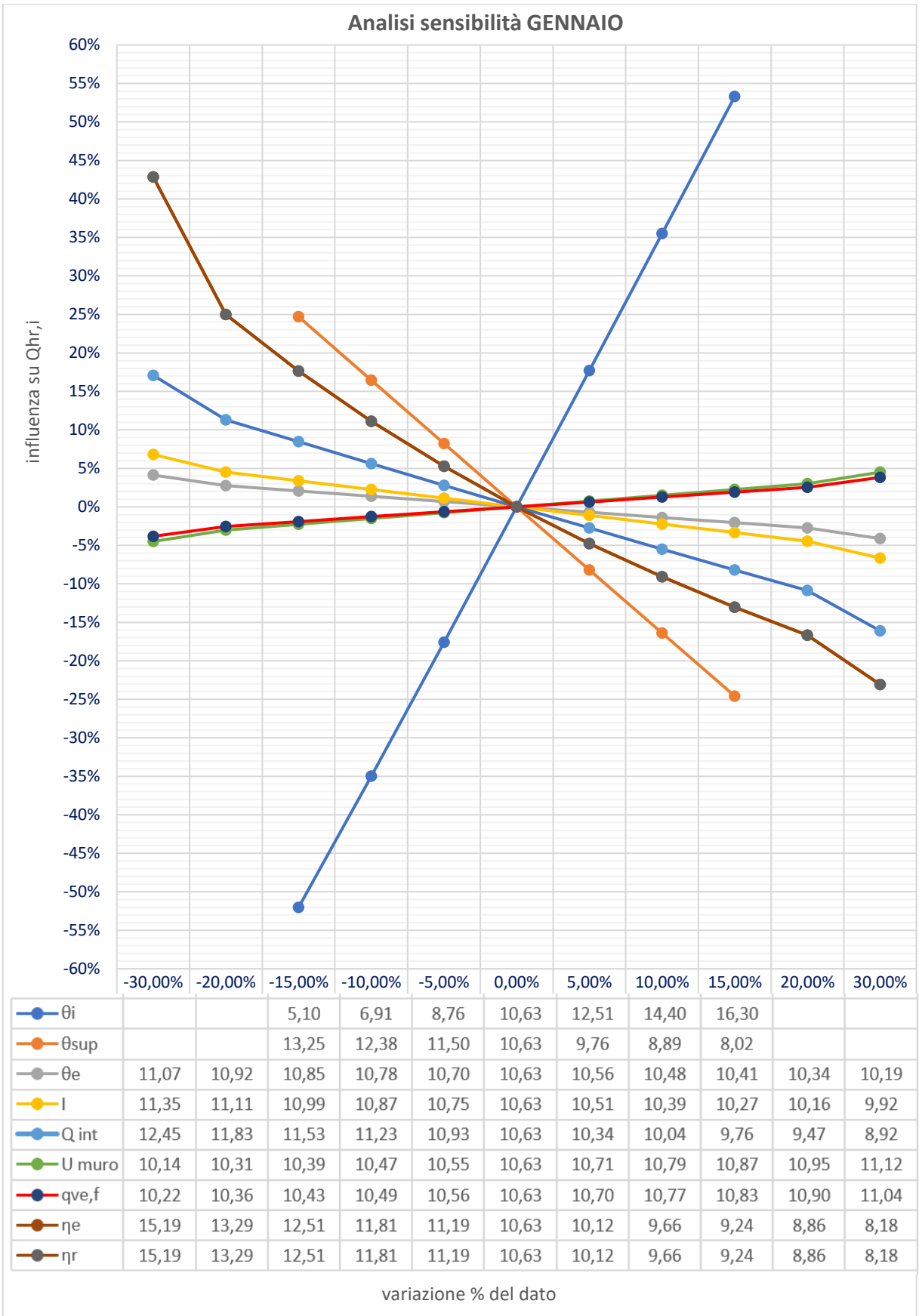
Di seguito sono elencati i fattori variati nell'analisi e la percentuale di incremento o decremento con cui ogni dato è stato ricalcolato:

- Temperatura interna (θ_i), variazioni di ± 5%;
- Temperatura esterna (θ_e), variazioni di ± 10%;
- Temperatura dell'aria immessa in ambiente dall'impianto di ventilazione meccanica (θ_{sup}), variazioni di ± 5%;
- Portata di aria immessa in ambiente dell'impianto di ventilazione meccanica (qve,f); variazioni di ± 5%;
- Apporti termici interni in funzione della destinazione d'uso e

dell’area (Q int); variazioni di ± 10%;

- Trasmittanza della parete perimetrale dell’alloggio affacciata verso l’ambiente esterno (U parete), variazioni di ± 10%;
- Irradianza su superficie verticale per ogni esposizione (I), variazione di ± 10%;
- Rendimento di regolazione (ηr), variazioni di ± 10%;
- Rendimento di emissione (ηe), variazioni di ± 10%.

Di seguito è riportato per ogni mese della stagione di riscaldamento un grafico in cui è visibile, in funzione del decremento o incremento del parametro di interesse, la variazione in percentuale del valore di fabbisogno di energia termica effettivo nel mese considerato. La variazione del fabbisogno effettivo Qhr,i, dovuta al ricalcolo dei vari dati di input, è calcolata come (Q*hr,i -Qhr,i)/Qhr,i; dove Q*hr,i è il fabbisogno come modificato a seguito dell’analisi di sensibilità



	-30,00%	-20,00%	-15,00%	-10,00%	-5,00%	0,00%	5,00%	10,00%	15,00%	20,00%	30,00%
θi			5,10	6,91	8,76	10,63	12,51	14,40	16,30		
θsup			13,25	12,38	11,50	10,63	9,76	8,89	8,02		
θe	11,07	10,92	10,85	10,78	10,70	10,63	10,56	10,48	10,41	10,34	10,19
I	11,35	11,11	10,99	10,87	10,75	10,63	10,51	10,39	10,27	10,16	9,92
Q int	12,45	11,83	11,53	11,23	10,93	10,63	10,34	10,04	9,76	9,47	8,92
U muro	10,14	10,31	10,39	10,47	10,55	10,63	10,71	10,79	10,87	10,95	11,12
qve,f	10,22	10,36	10,43	10,49	10,56	10,63	10,70	10,77	10,83	10,90	11,04
ηe	15,19	13,29	12,51	11,81	11,19	10,63	10,12	9,66	9,24	8,86	8,18
ηr	15,19	13,29	12,51	11,81	11,19	10,63	10,12	9,66	9,24	8,86	8,18

Figura 6.10: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nel mese di gennaio

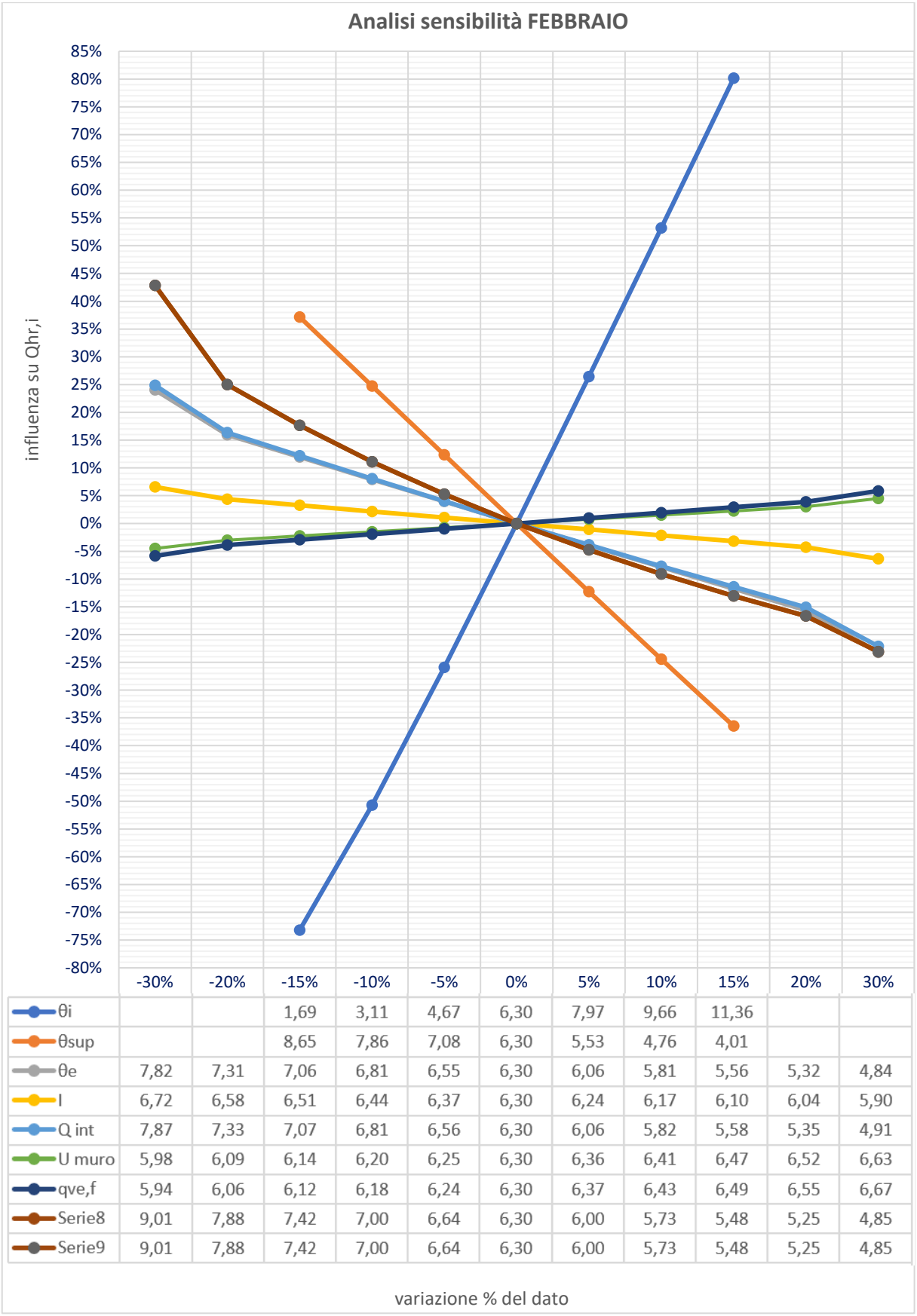
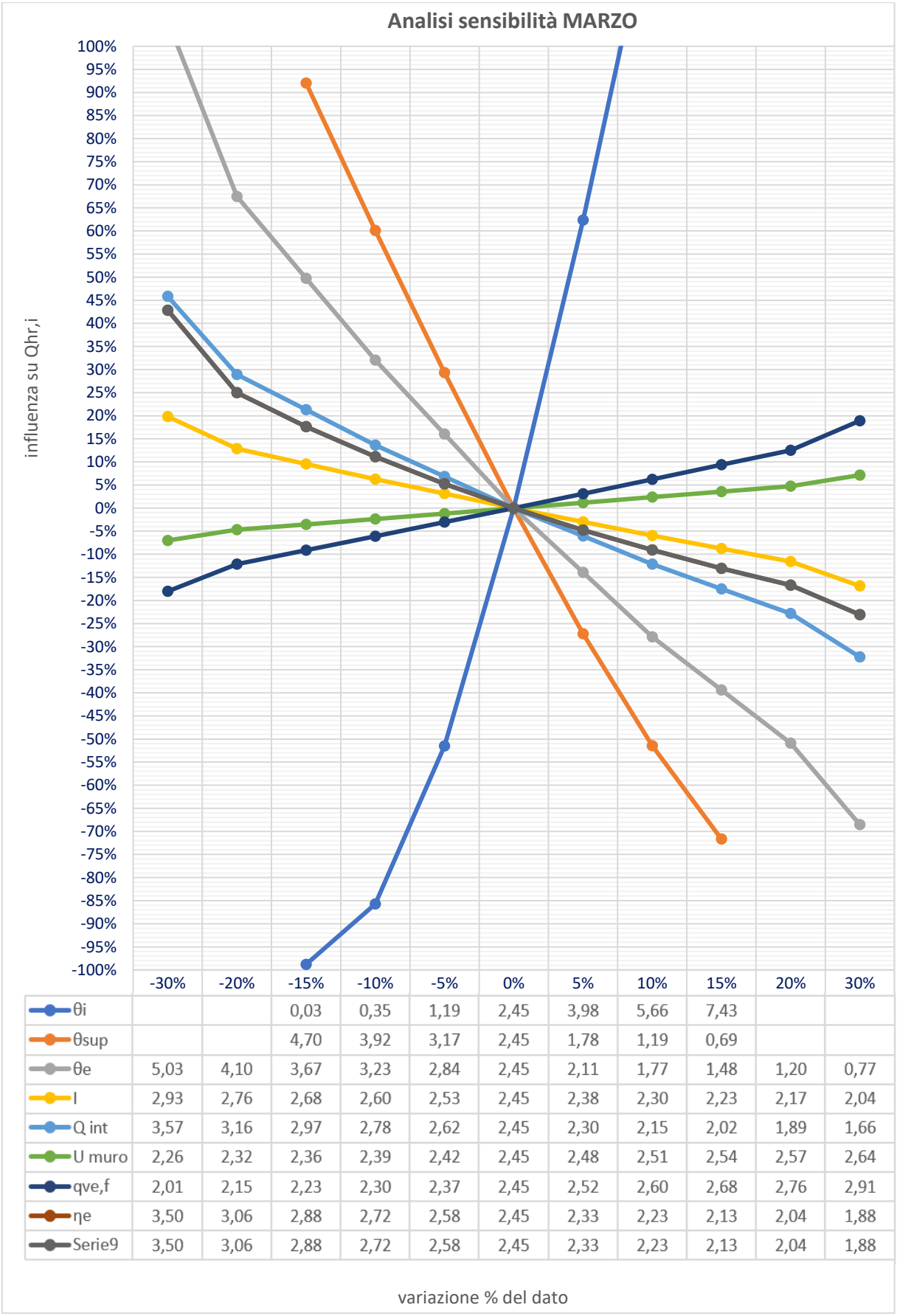


Figura 6.11: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nel mese di febbraio.



	-30%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%
θi			0,03	0,35	1,19	2,45	3,98	5,66	7,43		
θsup			4,70	3,92	3,17	2,45	1,78	1,19	0,69		
θe	5,03	4,10	3,67	3,23	2,84	2,45	2,11	1,77	1,48	1,20	0,77
I	2,93	2,76	2,68	2,60	2,53	2,45	2,38	2,30	2,23	2,17	2,04
Q int	3,57	3,16	2,97	2,78	2,62	2,45	2,30	2,15	2,02	1,89	1,66
U muro	2,26	2,32	2,36	2,39	2,42	2,45	2,48	2,51	2,54	2,57	2,64
qve,f	2,01	2,15	2,23	2,30	2,37	2,45	2,52	2,60	2,68	2,76	2,91
ηe	3,50	3,06	2,88	2,72	2,58	2,45	2,33	2,23	2,13	2,04	1,88
Serie9	3,50	3,06	2,88	2,72	2,58	2,45	2,33	2,23	2,13	2,04	1,88

Figura 6.12: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nel mese di marzo.

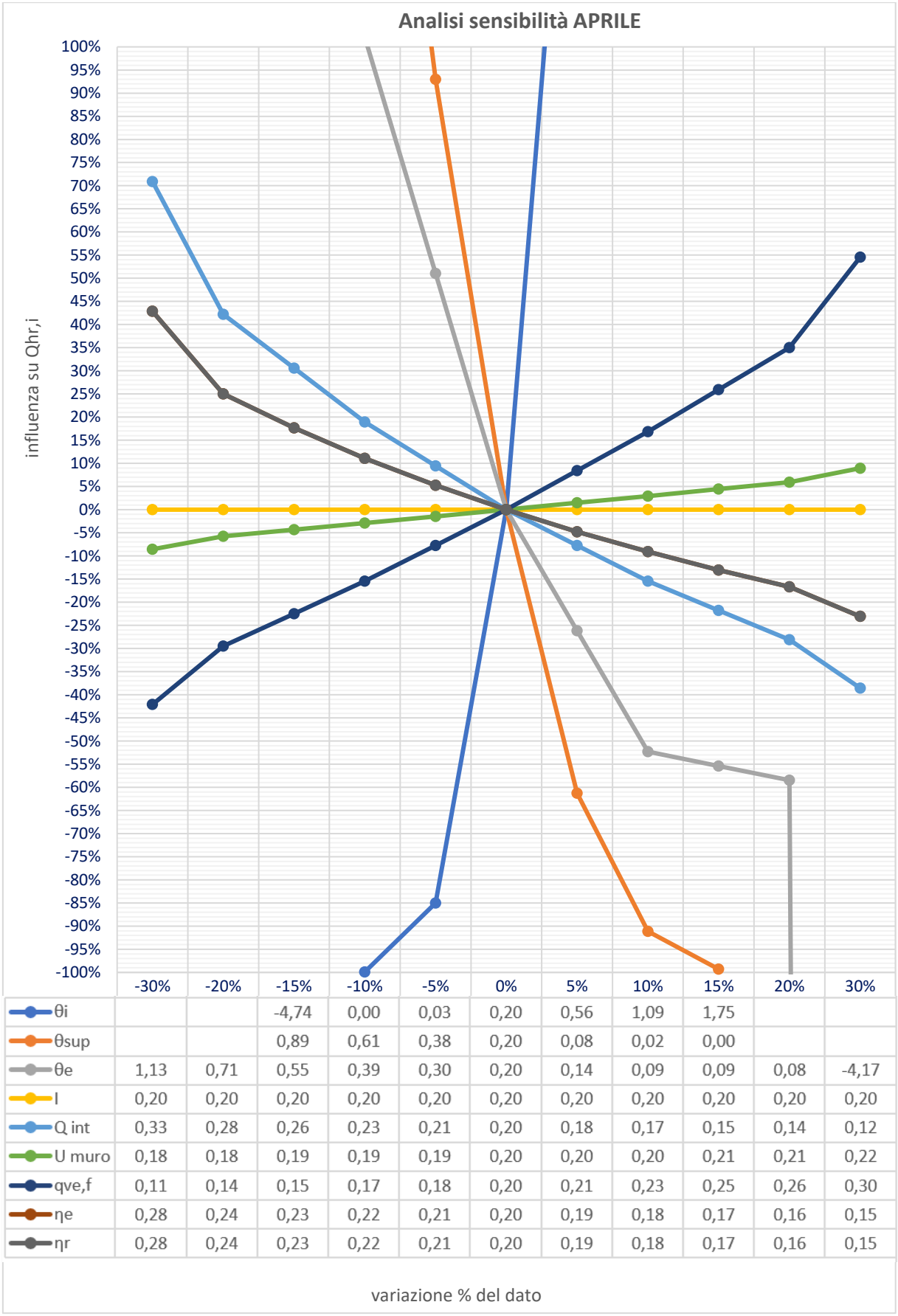
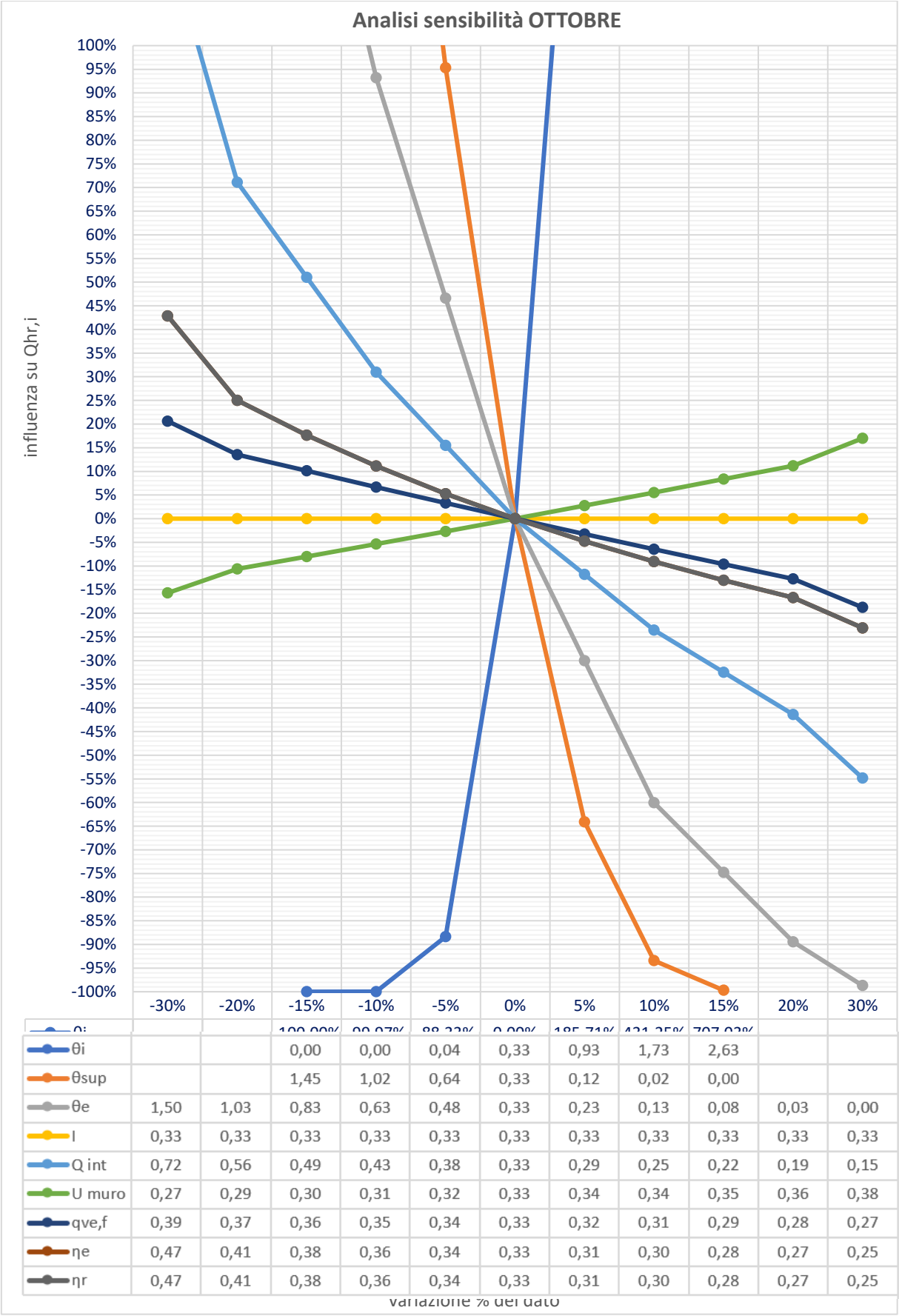


Figura 6.13: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nella frazione di mese di aprile.



	-30%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%
θi			0,00	0,00	0,04	0,33	0,93	1,73	2,63		
θsup			1,45	1,02	0,64	0,33	0,12	0,02	0,00		
θe	1,50	1,03	0,83	0,63	0,48	0,33	0,23	0,13	0,08	0,03	0,00
I	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Q int	0,72	0,56	0,49	0,43	0,38	0,33	0,29	0,25	0,22	0,19	0,15
U muro	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,38
qve,f	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,27
ηe	0,47	0,41	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25
ηr	0,47	0,41	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25

Figura 6.14: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nella frazione di mese di ottobre.

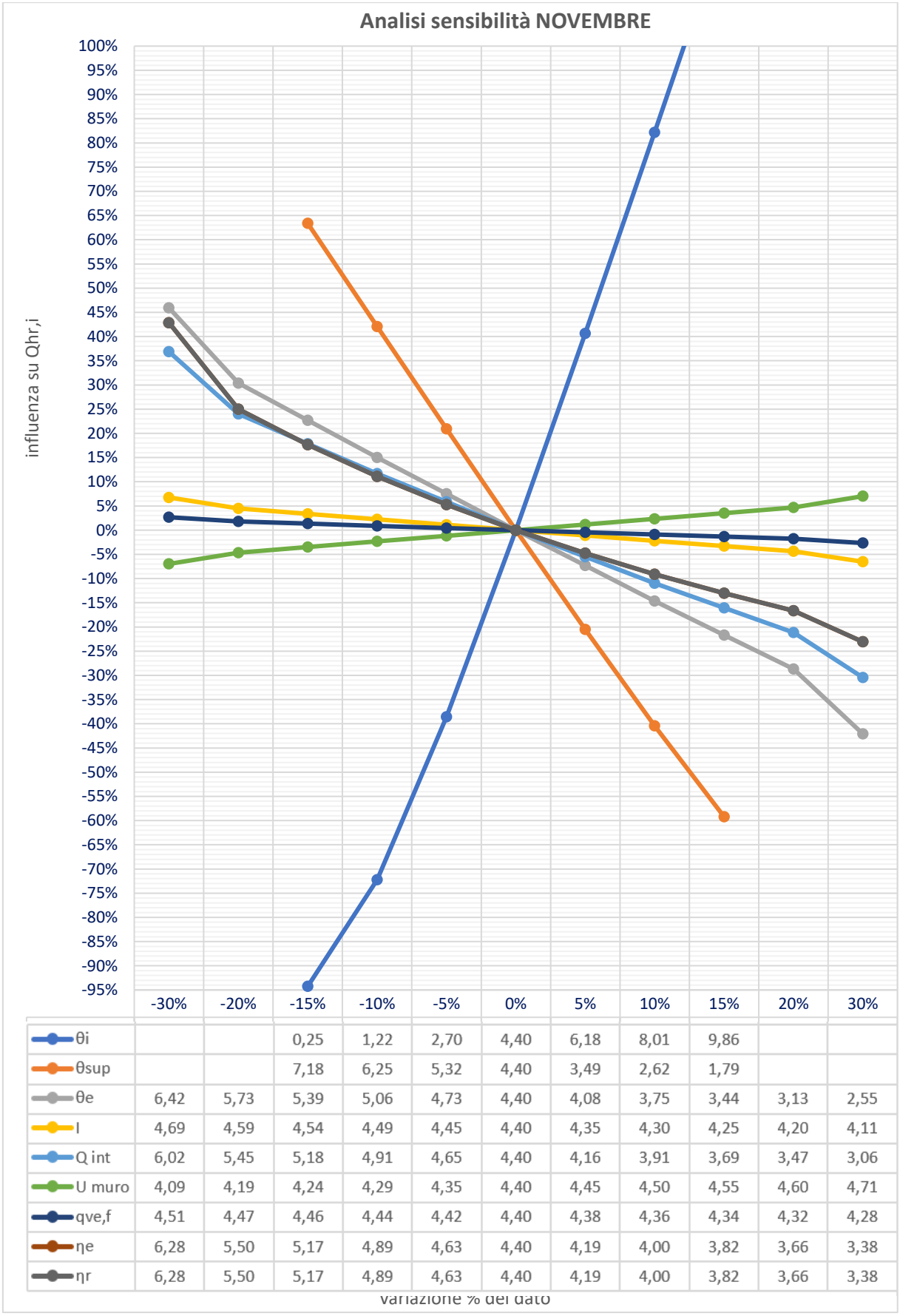
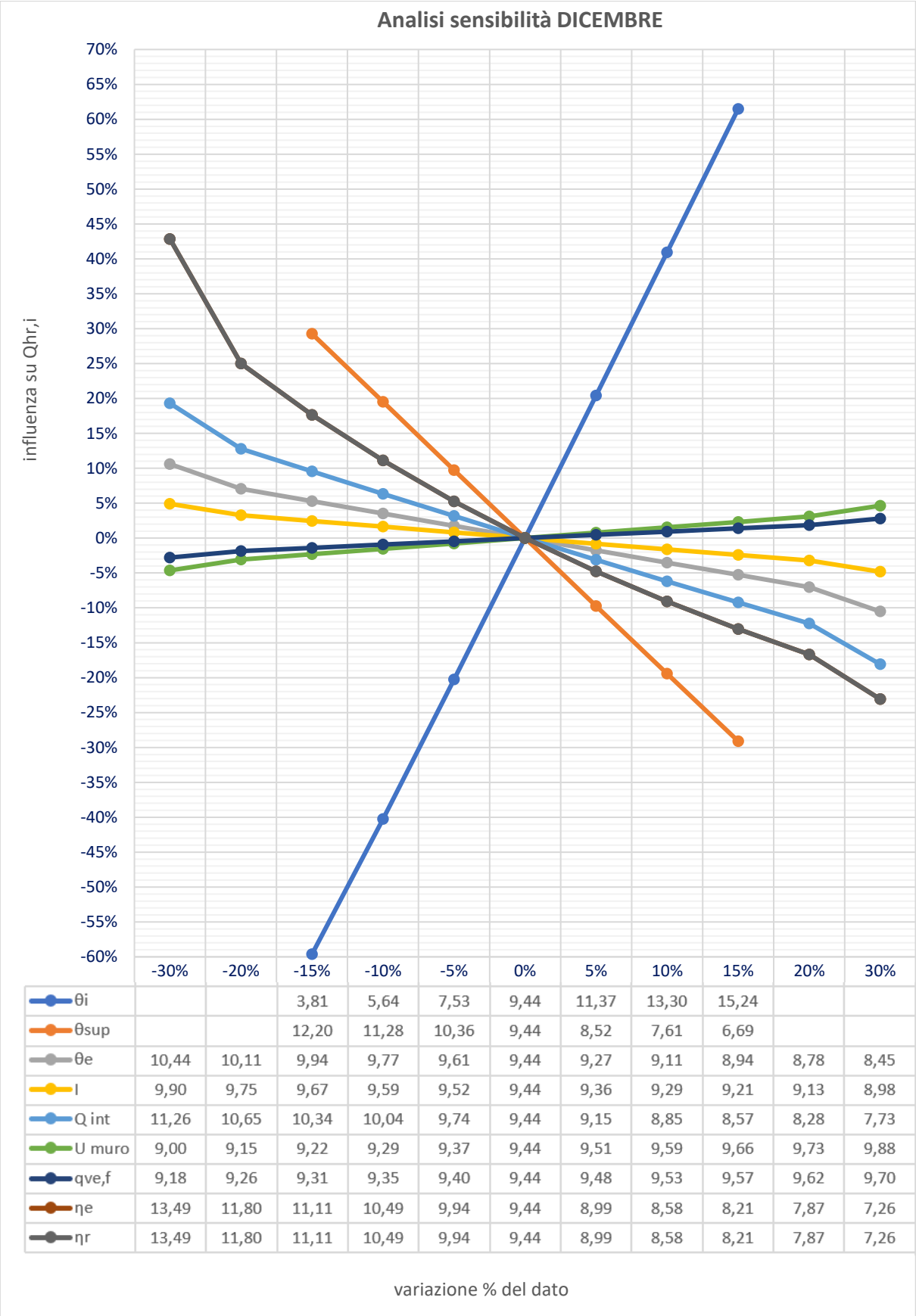


Figura 6.15: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nel mese di novembre.



	-30%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%
θi			3,81	5,64	7,53	9,44	11,37	13,30	15,24		
θsup			12,20	11,28	10,36	9,44	8,52	7,61	6,69		
θe	10,44	10,11	9,94	9,77	9,61	9,44	9,27	9,11	8,94	8,78	8,45
I	9,90	9,75	9,67	9,59	9,52	9,44	9,36	9,29	9,21	9,13	8,98
Q int	11,26	10,65	10,34	10,04	9,74	9,44	9,15	8,85	8,57	8,28	7,73
U muro	9,00	9,15	9,22	9,29	9,37	9,44	9,51	9,59	9,66	9,73	9,88
qve,f	9,18	9,26	9,31	9,35	9,40	9,44	9,48	9,53	9,57	9,62	9,70
ηe	13,49	11,80	11,11	10,49	9,94	9,44	8,99	8,58	8,21	7,87	7,26
ηr	13,49	11,80	11,11	10,49	9,94	9,44	8,99	8,58	8,21	7,87	7,26

Figura 6.16: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica per riscaldamento nel mese di dicembre.

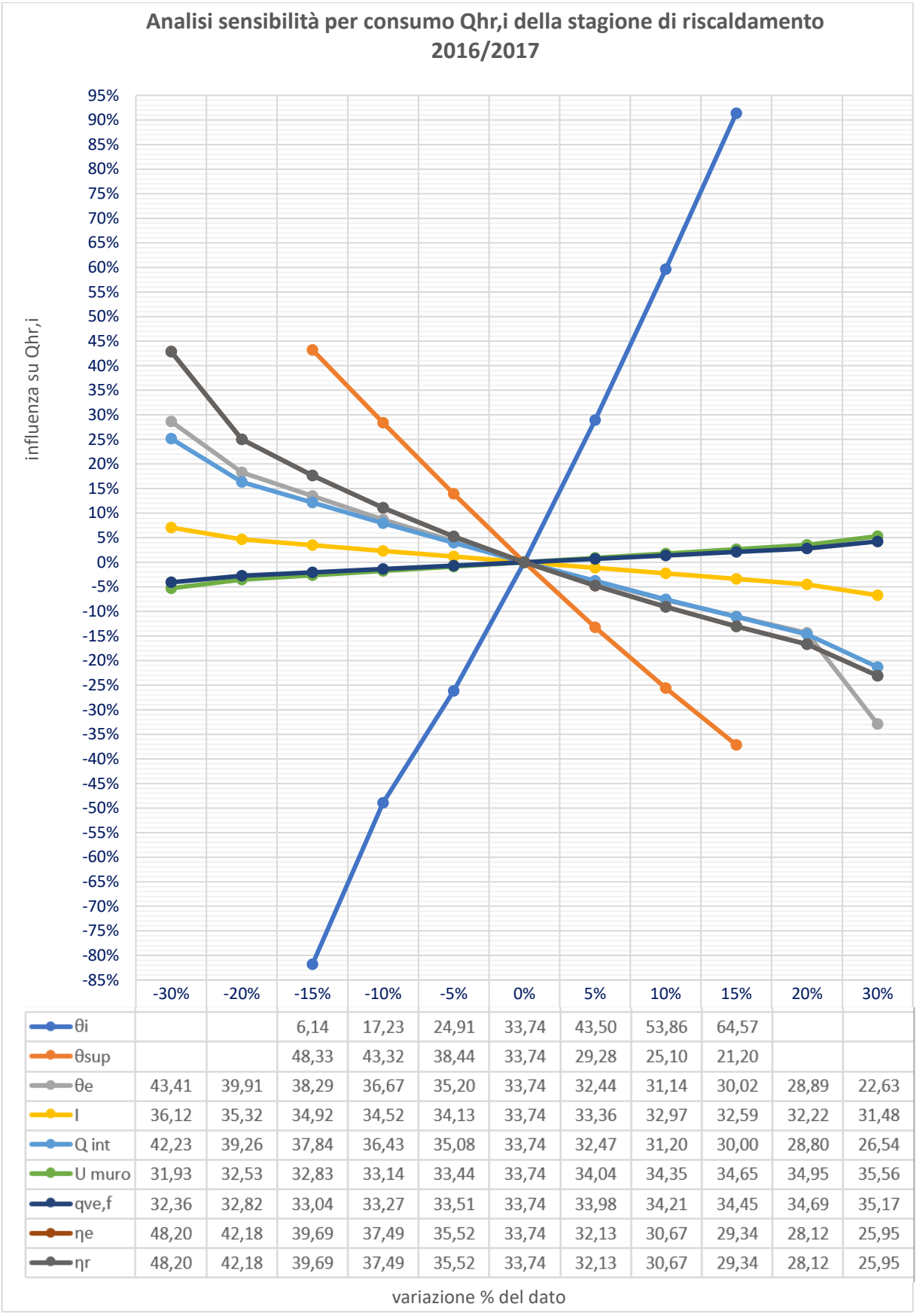


Figura 6.16: Analisi sensibilità del fabbisogno di energia termica effettivo per riscaldamento nell'intera stagione di riscaldamento 2016/2017.

Come visibile dalle figure soprastanti la temperatura interna ha un notevole effetto sul consumo di energia termica per riscaldamento dell'alloggio. L'incremento di un 5%, pari ad 1°C, causa un incremento di circa il +30% sul fabbisogno stagionale effettivo di energia termica. L'incremento, a seguito della medesima variazione della θ_i, arriva ad oltre il +60% del valore originale per marzo ed addirittura oltre il +180% per aprile e ottobre.

Gli altri principali parametri di influenza sono la temperatura dell'aria immessa in ambiente dall'impianto di climatizzazione meccanica e i due rendimenti degli impianti meccanici considerati nei calcoli. Seguono poi la temperatura esterna e gli apporti interni.

I parametri finora commentati sono anche i più soggetti ad errori nel calcolo del fabbisogno in quanto difficilmente ricavabili con precisione.

Le formule con cui si calcola l'influenza del rendimento di emissione e regolazione sul fabbisogno ideale di energia termica sono uguali; essendo i due rendimenti calcolati molto simili ne segue che un loro incremento o decremento causa identiche percentuali di variazione del fabbisogno effettivo: le curve relative ai due rendimenti si sovrappongono infatti in ogni grafico rappresentativo dell'analisi di sensibilità. La loro influenza è simile a quella degli apporti interni. La variazione in percentuale di ognuna di quest'ultime grandezze è circa pari all'incremento o decremento in percentuale che generano sul fabbisogno termico.

La temperatura θsup è misurata nel condotto di discesa comune a più alloggi. Questa potrebbe subire alcune variazioni nel tratto di canalizzazione, compreso tra il punto in cui è misurata e le bocchette di immissione in ambiente, per via delle perdite di distribuzione. Dato che l'alloggio esaminato si trova a primo piano ed è quindi il più distante la temperatura dell'aria immessa nell'alloggio può essere anche notevolmente inferiore a quella misurata. Incrementi o decrementi di 1°C sul valore misurato di θsup causano scostamenti di fabbisogno di energia termica effettiva pari al 15%.

La portata di ventilazione influisce sul risultato finale dello specifico modello di calcolo impostato con una quota che è pressoché pari a quella determinata dalla variazione dell'irradianza e della trasmittanza della parete perimetrale.

Osservando i grafici relativi ai singoli mesi si possono notare alcune particolarità rispetto all'analisi di sensibilità relativa all'intera stagione di riscaldamento.

Nel mese di ottobre gli apporti interni risultano molto più influenti dei due rendimenti.

La portata dell'aria introdotta in ambiente dall'impianto di ventilazione risulta avere una notevole influenza sul fabbisogno termico nel mese di aprile. Nei mesi di ottobre e novembre

la curva rappresentante quest'ultima grandezza ha andamento inverso a quello riscontrato negli altri grafici: all'aumentare della portata diminuisce il fabbisogno. Ciò è dovuto al fatto che la temperatura medio mensile dell'aria immessa in ambiente (θsup) nei suddetti mesi è superiore alla temperatura interna registrata.

L'incidenza dei dati considerati nell'analisi di sensibilità sul fabbisogno effettivo di energia termica potrebbe essere la causa della variazione dei consumi tra i vari alloggi all'interno della stessa tipologia immobiliare.

Se si combina l'effetto di una variazione di -5% della θsup, -10% dei valori di apporti interni in W/m^2 definiti dalla normativa e + 10% della portata di aria dell'impianto meccanico (dovuto ad un'eventuale sbilanciamento) il fabbisogno di energia termica per l'alloggio 1413A incrementa del +28%. Se si somma ancora l'effetto di una diminuzione del -5% dei due rendimenti si passa ad un incremento del fabbisogno effettivo del +41%. Se invece si somma l'effetto di un incremento di temperatura interna di +5% si arriva ad ottenere un aumento del fabbisogno pari a +60%. La combinazione di tutti questi effetti porta ad un incremento del +77%. Questo valore rimane però ancora lontano dal performance gap tra il consumo stagionale misurato e il fabbisogno termico calcolato nel precedente paragrafo (185%).

6.3. Analisi di calibrazione

È possibile, grazie al modello di calcolo impostato, ricercare i dati di input attraverso i quali si giunge a valori mensili di fabbisogno che meglio approssimano i reali valori misurati di consumo di energia termica per riscaldamento.

L'analisi di calibrazione è stata effettuata grazie al componente aggiuntivo di Excel Risolutore. Questo strumento consente di trovare un valore ottimale di una cella di destinazione mediante l'inserimento di valori diversi all'interno delle celle utilizzate per il calcolo della stessa cella di destinazione. Al fine di controllare la variazione dei dati di input è possibile inserire dei vincoli di controllo sugli stessi dati. Nella cella di destinazione dell'analisi è calcolata la media delle differenze in valore assoluto fra i valori mensili di fabbisogno calcolati con il metodo specificato dalla UNI/TS 11300-1 e il consumo di energia termica per riscaldamento misurato nello stesso alloggio (1413A) dal sistema di monitoraggio.

Le variabili scelte per la variazione sono le seguenti:

- La portata nominale dell'impianto di ventilazione meccanica;
- La temperatura dell'aria immessa in ambiente dall'impianto di

ventilazione meccanica;

- La percentuale di funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanica;
- La portata d'aria media giornaliera per ventilazione naturale;
- La temperatura interna all'alloggio;
- La temperatura esterna;
- La trasmittanza delle pareti perimetrali;
- La trasmittanza dei vetri;
- La trasmittanza dei telai delle finestre;
- La trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale ($g_{gl,n}$);
- Gli apporti termici interni in funzione della destinazione d'uso e dell'area;
- L'irradianza su superficie verticale;
- Il fattore di riduzione dell'irraggiamento per schermature mobili;
- Il rendimento id emissione;
- Il rendimento di regolazione.

Su ogni variabile considerata nell'analisi è stato impostato un vincolo al fine di limitare le variazioni del dato e contenerlo entro valori accettabili. Si è scelto di impostare i seguenti limiti alla variazione dei dati di input:

- ± il 25% del valore per gli apporti termici interni, i valori di trasmittanza e il fattore di riduzione dell'irraggiamento per schermature mobili.
- ± il 10% del valore per i rendimenti degli impianti;
- ± il 20% del valore per la portata di ventilazione meccanica e di ventilazione naturale;
- Valore massimo uguale a 1 e minimo uguale a 0,915 per la percentuale di funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanica. Un valore di 0,915 corrisponde ad uno spegnimento dell'impianto meccanico per due ore, in tale arco temporale viene considerato nel calcolo delle perdite per ventilazione la portata d'aria media giornaliera per ventilazione naturale e non interviene il fattore di correzione della temperatura b_{ve} (la portata è moltiplicata direttamente per la differenza tra la temperatura interna ed esterna);

- ± 0,2 °C, ovvero la sensibilità dello strumento, per la temperatura esterna.
- ± il 5% per l'irradianza;
- ± (0,2°C +5% del valore) per la temperatura interna. 0,2°C sono pari alla sensibilità dello strumento di misura. A questo errore si è aggiunto un'altra percentuale pari al 5% che tiene conto del fatto che la temperatura misurata dalla sonda possa non essere rappresentativa dell'intera zona climatizzata.
- ± (0,2°C +12% del valore) per la temperatura dell'aria introdotta in ambiente dell'impianto di climatizzazione meccanico. 0,2°C sono pari alla sensibilità dello strumento di misura. A questo errore si è aggiunto un'altra percentuale pari al 12% che tiene conto delle perdite per distribuzione dei condotti dell'aria.

L'analisi è stata effettuata in tre step:

- In una prima fase sono stati variati i soli dati di input ottenuti tramite calcoli (sono esclusi i dati di input ricavati da misurazioni). I valori di temperatura esterna θe , interna θi e di immissione dell'aria in ambiente θsup, oltre all'irradianza, sono rimasti invariati.
- Nella seconda fase è stata considerata nell'analisi di calibrazione, oltre alle variabili sopra elencate, anche la θsup;
- Nella terza fase sono state considerate tutte le variabili elencate nell'elenco soprastante.

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i valori mensili di fabbisogno ottenuti a seguito delle tre simulazioni e i confronti con il consumo di energia termica per riscaldamento misurato nella stagione 2016/2017 per l'alloggio 1413A. Il Gap è calcolato come (ETh-Qhr,i)/Qhr,i.

	ANALISI DI CALIBRAZIONE 1							
	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	ott-16	nov-16	dic-16	SOMMA
Qhr,i [kWh]	662,91	416,93	237,10	31,40	25,00	336,61	587,38	2297,33
Qhr,i [kWh/m2a]	20,87	13,12	7,46	0,99	0,79	10,60	18,49	72,31
Eth [kWh]	776,00	556,00	394,00	56,00	25,00	490,00	761,00	3.058,00
Eth [kWh/mq]	24,43	17,50	12,40	1,76	0,79	15,42	23,95	96,25
GAP	17%	33%	66%	78%	0%	46%	30%	39%

	ANALISI DI CALIBRAZIONE 2							
	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	ott-16	nov-16	dic-16	SOMMA
Qhr,i [kWh]	761,37	505,67	333,75	56,00	24,77	436,70	690,59	2.808,85
Qhr,i [kWh/m2a]	23,96	15,92	10,51	1,76	0,78	13,75	21,74	88,41
Eth [kWh]	776,00	556,00	394,00	56,00	25,00	490,00	761,00	3.058,00
Eth [kWh/mq]	24,43	17,50	12,40	1,76	0,79	15,42	23,95	96,25
GAP	2%	10%	18%	0%	1%	12%	10%	9%

	ANALISI DI CALIBRAZIONE 3							
	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	ott-16	nov-16	dic-16	SOMMA
Qhr,i [kWh]	776,00	556,00	394,00	56,00	25,00	490,00	761,00	3.058,00
Qhr,i [kWh/m2a]	24,43	17,50	12,40	1,76	0,79	15,42	23,95	96,25
Eth [kWh]	776,00	556,00	394,00	56,00	25,00	490,00	761,00	3.058,00
Eth [kWh/mq]	24,43	17,50	12,40	1,76	0,79	15,42	23,95	96,25
GAP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 6.43. Fabbisogno di energia termica per riscaldamento a seguito dell'analisi di calibrazione. Le tre analisi sono state effettuate nei tre step come specificato nell'elenco soprastante.

Come visibile nella Tabella 6.43. con le analisi di calibrazione 1 e 2 non è possibile ottenere un Gap nullo. All'aumentare del numero di parametri che vengono fatti variare naturalmente aumenta anche la precisione del risultato della previsione dei consumi. Considerando nell'analisi i soli dati di input stimati e ammettendo un errore massimo nella loro stima pari a quello sopra specificato non è quindi possibile ottenere un fabbisogno Qhr,i pari al reale consumo di energia termica per riscaldamento misurato. L'effetto della θsup sul risultato del modello di calcolo, come già emerso dall'analisi di sensibilità, è notevole e permette di diminuire notevolmente il Gap tra i due valori analizzati.

Di seguito sono riportati i valori di input ricavati a seguito della terza analisi di calibrazione confrontati con i valori originali. I dati modificati sono quelli su cui è apposto l'asterisco.

θ*e	θe	I* Or.	I Or.	I* N	I N	I* N-E	I N-E	I* E/O	I E/O	I* S	I S
[°C]	[°C]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]
1,64	1,72	70,37	70,56	20,50	20,52	22,36	23,54	62,47	61,33	142,61	150,12
6,57	6,77	70,20	70,40	26,21	26,24	29,59	31,14	53,58	52,60	83,60	88,00
12,76	12,96	156,37	156,79	43,61	43,66	64,86	68,27	119,28	117,10	150,21	158,11
17,76	17,91	224,71	226,41	62,83	64,30	103,23	108,77	159,16	159,60	151,37	151,54
12,92	13,02	71,83	73,51	26,54	27,97	34,11	34,20	53,09	53,15	74,21	78,12
8,38	8,58	48,75	48,88	19,08	19,10	20,07	21,13	38,03	37,34	67,61	71,17
3,73	3,93	51,01	51,15	17,19	17,21	17,61	18,54	44,15	43,35	101,27	106,60

pv,e*	pv,e	θ*i,set point	θi,set point	θ*sup	θsup	q*ve,f	qve,f	β*k	βk	q*ve,0	qve,0
[Pa]	[Pa]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[m3/s]	[m3/s]	[-]	[-]	[m3/s]	[m3/s]
415,07	436,91	22,75	21,54	17,41	19,98	0,032	0,027	0,94	1,00	0,02	0,02
822,09	865,36	22,80	21,53	17,36	19,94	0,031	0,027	0,92	1,00	0,02	0,02
893,56	940,59	23,31	22,01	17,27	19,85	0,032	0,027	0,98	1,00	0,02	0,02
1080,04	1136,88	23,26	22,19	19,48	20,10	0,027	0,027	1,00	1,00	0,02	0,02
1390,11	1364,73	20,99	21,05	22,05	21,94	0,027	0,027	1,00	1,00	0,02	0,02
825,70	869,15	23,25	21,95	19,60	22,43	0,029	0,027	0,92	1,00	0,02	0,02
676,04	711,62	23,34	22,04	18,31	21,03	0,031	0,027	0,92	1,00	0,02	0,02

Φ^*_{int} GEN	Φ_{int} GEN	Φ^*_{int} FEB	Φ_{int} FEB	Φ^*_{int} MAR	Φ_{int} MAR	Φ^*_{int} APR	Φ_{int} APR	Φ^*_{int} OTT	Φ_{int} OTT	Φ^*_{int} NOV	Φ_{int} NOV	Φ^*_{int} DIC	Φ_{int} DIC
[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]
7,09	8	6,48	8	6,58	8	6,92	8	8,07	8	6,55	8	6,00	8
17,71	20	16,20	20	16,44	20	17,31	20	20,18	20	16,37	20	15,00	20
1,77	2	1,62	2	1,64	2	1,73	2	2,02	2	1,64	2	1,50	2
7,09	8	6,48	8	6,58	8	6,92	8	8,07	8	6,55	8	6,00	8
17,71	20	16,20	20	16,44	20	17,31	20	20,18	20	16,37	20	15,00	20
1,77	2	1,62	2	1,64	2	1,73	2	2,02	2	1,64	2	1,50	2
0,89	1	0,81	1	0,82	1	0,87	1	1,01	1	0,82	1	0,75	1
0,89	1	0,81	1	0,82	1	0,87	1	1,01	1	0,82	1	0,75	1
5,31	6	4,86	6	4,93	6	5,19	6	6,05	6	4,91	6	4,50	6
1,77	2	1,62	2	1,64	2	1,73	2	2,02	2	1,64	2	1,50	2
3,54	4	3,24	4	3,29	4	3,46	4	4,04	4	3,27	4	3,00	4
5,31	6	4,86	6	4,93	6	5,19	6	6,05	6	4,91	6	4,50	6

U* pareti	U pareti	U*g	Ug	U*f	Uf	η * emi.	H emi.	η * reg.	H reg.	g*gl,n	ggl,n
[W/m²K]	[W/m2K]	[W/m²K]	[W/m2K]	[W/m²K]	[W/m2K]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,23	0,19	1,25	1,00	2,78	2,50	0,83	0,92	0,85	0,94	0,61	0,69

fsh,with													
gennaio*	gennaio	febbraio*	febbraio	marzo*	marzo	aprile*	aprile	ottobre*	ottobre	novembre *	novembre	dicembre*	dicembre
0,86	0,81	0,87	0,82	0,89	0,81	0,76	0,74	0,86	0,86	0,87	0,84	0,93	0,86
0,52	0,52	0,48	0,48	0,68	0,66	0,72	0,71	0,72	0,72	0,64	0,62	0,54	0,50
0,39	0,39	0,55	0,55	0,63	0,63	0,62	0,62	0,60	0,60	0,31	0,30	0,45	0,42

Tabella 6.44. Dati di input ricavati imponendo un fabbisogno di energia termica per riscaldamento uguale al consumo effettivamente misurato nell'alloggio 1413A e confronto con i dati originali.

Come visibile nella Tabella 6.44. i dati di input modificati non risultano anomali ma al contrario sono plausibili. La differenza con i valori originali è in tutti i casi ridotta e rispetta i limiti

impostati. Se si sceglie di utilizzare nei calcoli energetici il metodo mensile quasi stazionari specificato dalla UNI/TS 11300-1 è necessario utilizzare i dati riportati nella tabella 6.44 per poter ottenere un valore di fabbisogno pari al consumo di energia termica per riscaldamento effettivamente misurato. Ulteriori analisi sarebbero necessaire per indagare se una simulazione energetica in regime dinamico effettuata utilizzando i dati ottenibili dal BEMS potrebbe condurre a risultati che meglio approssimano i valori reali.

Tale analisi non riduce il problema che anche utilizzando dati monitorati nel modello di calcolo, dalla previsione di consumo energetico sono stati ottenuti risultati che divergono di molto dai reali valori rilevati. Ne segue una scasa affidabilità del modello di calcolo impostato.

7. Profili di consumi orari medi mensili di ACS e di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva.

A seguito dell'aumento dei dati resi disponibili dai sistemi di gestione e monitoraggio energetici la profilazione ha assunto una notevole importanza fra gli strumenti utilizzati per estrarre informazioni sul reale comportamento energetico degli edifici. Diversi studi hanno mostrato come le tecniche di profilazione energetica possano dare un importante contributo al fine di:

- Classificare i consumi di energia;
- Identificare modelli energetici anomali;
- Sviluppare strategie per il controllo degli impianti a sfruttamento di energie rinnovabili, atte al contenimento del consumo;
- Sviluppare simulazioni energetiche, applicabili anche in fase progettuale, che permettano di tener conto di variabili temporali e altri importanti parametri quali caratteristiche specifiche dell'edificio e la destinazione d'uso dell'immobile.[40]

A partire dai dati rilevati dal BEMS installato nel complesso di edifici si è ricorso ai profili giornalieri al fine di ricavare l'andamento orario medio mensile dei consumi di ACS, ETc ed ETh.

L'estrazione dei profili di consumo ha implicato lo svolgimento di una serie di diversi fasi di lavoro. I dati sono stati scaricati tramite un Report appositamente creato nell'applicazione *web-based* del BEMS. In maniera eccessivamente macchinosa ai fini del lavoro, questo report consente lo scaricamento di un file CSV in cui sono riportati, per ogni condominio, i valori dei consumi orari di un determinato fabbisogno. I dati scaricati devono essere compresi in uno specificato lasso temporale di lunghezza massima pari ad un mese. Il file CSV contiene una coppia di colonne di dati, queste sono composte da tante sotto-tabelle quante sono le ore comprese nel range di date richieste prima dello scaricamento. Ogni tabella contiene, per i sette condomini, la somma dei consumi orari di uno specifico fabbisogno misurati da tutti gli alloggi serviti dalla stessa sottocentrale. In questo caso non si è tenuto conto della distinzione tra gli alloggi occupati e non occupati riportata nel capitolo 5, ogni valore orario è il reale fabbisogno energetico del condominio misurato in una determinata ora di un determinato giorno. Si è infatti riscontrato che nella sommatoria dei valori di consumo sono presenti dati riferiti ad alloggi che,

[40] Alfonso Capozzoli, Marco Savini Pisciatelli, Silvio Brandi, Mining typical load profiles in building to supporter energy management in the smart city context, ResearchGate, 07/2017

secondo le indicazioni riportate nel software, non risultano essere abitati. Può accadere, per esempio, che si attivi per alcune ore il ciclo anti-gelo in tutti gli alloggi in cui gli impianti di riscaldamento sono stati spenti, o che le informazioni riguardanti l'occupazione degli alloggi non siano state adeguatamente aggiornate. L'effetto di questi ultimi valori risulta comunque ininfluente sul consumo di riferimento per il condominio.

Ottenuti tutti i dati di consumo orario di ACS e di energia termica per riscaldamento e raffrescamento per i sette condomini e per un intervallo temporale di lunghezza almeno pari ad un anno, si è potuto procedere alla loro elaborazione ed analisi.

Il pre-processing dei dati è la prima fondamentale fase da seguire per la preparazione alle successive analisi. Questa fase comporta un'analisi dei dati al fine di rintracciare valori mancanti o anomali. I dati sono così stati inseriti in apposite tabelle di dimensioni fisse che ne permettono il riordinamento in serie di lunghezza temporale costante. Ogni colonna della tabella di dati contiene, per un determinato giorno e per uno specifico condominio, i 24 valori orari di consumo. Questo passaggio permette di trattare l'insieme dei valori contenuti in ogni colonna come un unico oggetto elaborabile, in modo semiautomatico, tramite una serie di algoritmi sviluppati su Excel.

Volendo confrontare i profili di consumo tra i vari condomini nel tempo è stato necessario effettuare una normalizzazione dei dati riordinati. Sono state adottate le medesime normalizzazioni riportate nel capitolo 5. Tramite il modulo Anagrafica è stato possibile calcolare, mese per mese, il numero di persone residenti e la somma delle superfici utili degli alloggi occupati in ogni condominio. Si sono così ottenuti i dati necessari alla normalizzazione compresi tra gennaio 2016 e marzo 2017. I consumi termici normalizzati sono calcolati, per ogni mese e per ogni condominio, dividendo ogni valore di consumo orario (in kWh) per il totale dei m^2 occupati del condominio nel mese di riferimento. Il consumo di ACS normalizzato è ottenuto dividendo i valori (in L*h) di acqua utilizzata in ogni condominio e in ogni mese per il numero di persone residenti negli alloggi nel periodo considerato.

Nelle Figure 7.1, 7.2, 7.3 sono riportati esempi di profili giornalieri relativi rispettivamente al consumo di ACS, di ETh e di ETc.

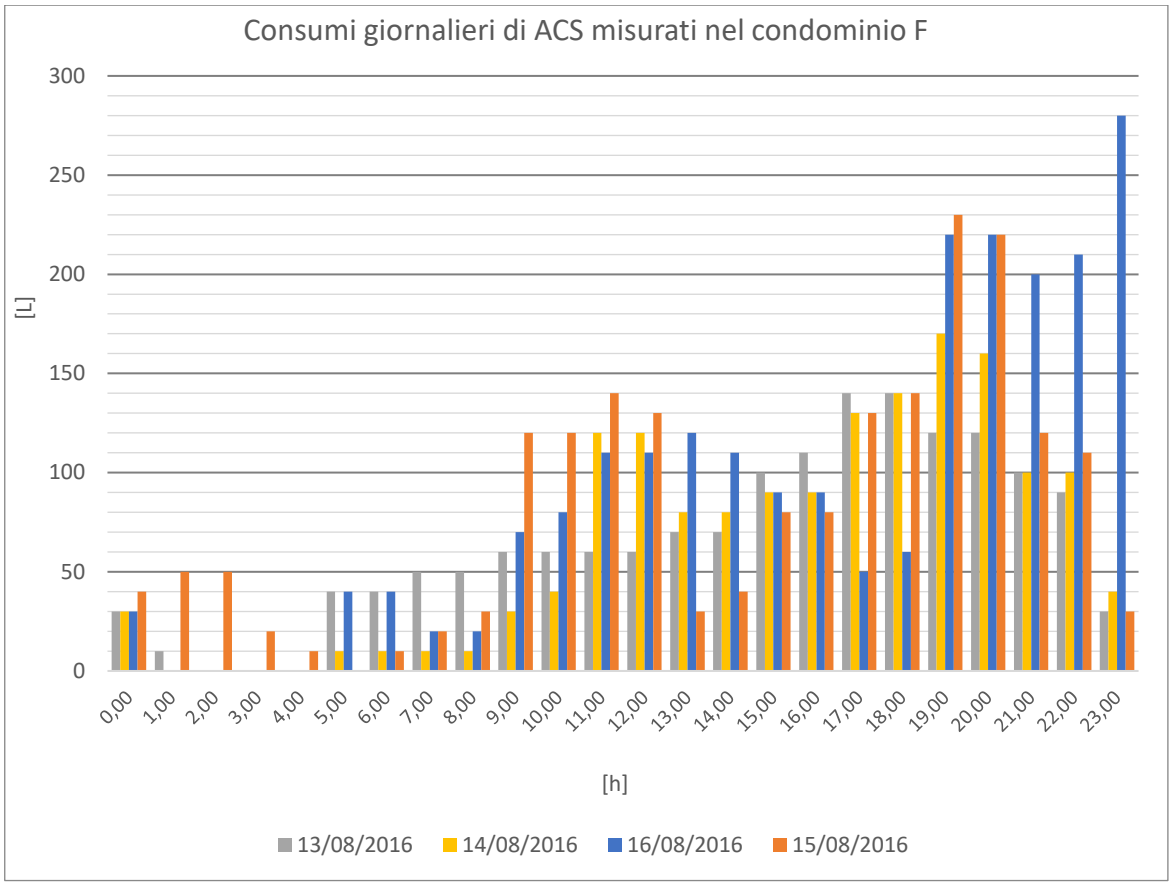


Figura 7.1 profili di consumi orari di ACS per il condominio F nei giorni compresi tra 13 e il 15 agosto 2016.

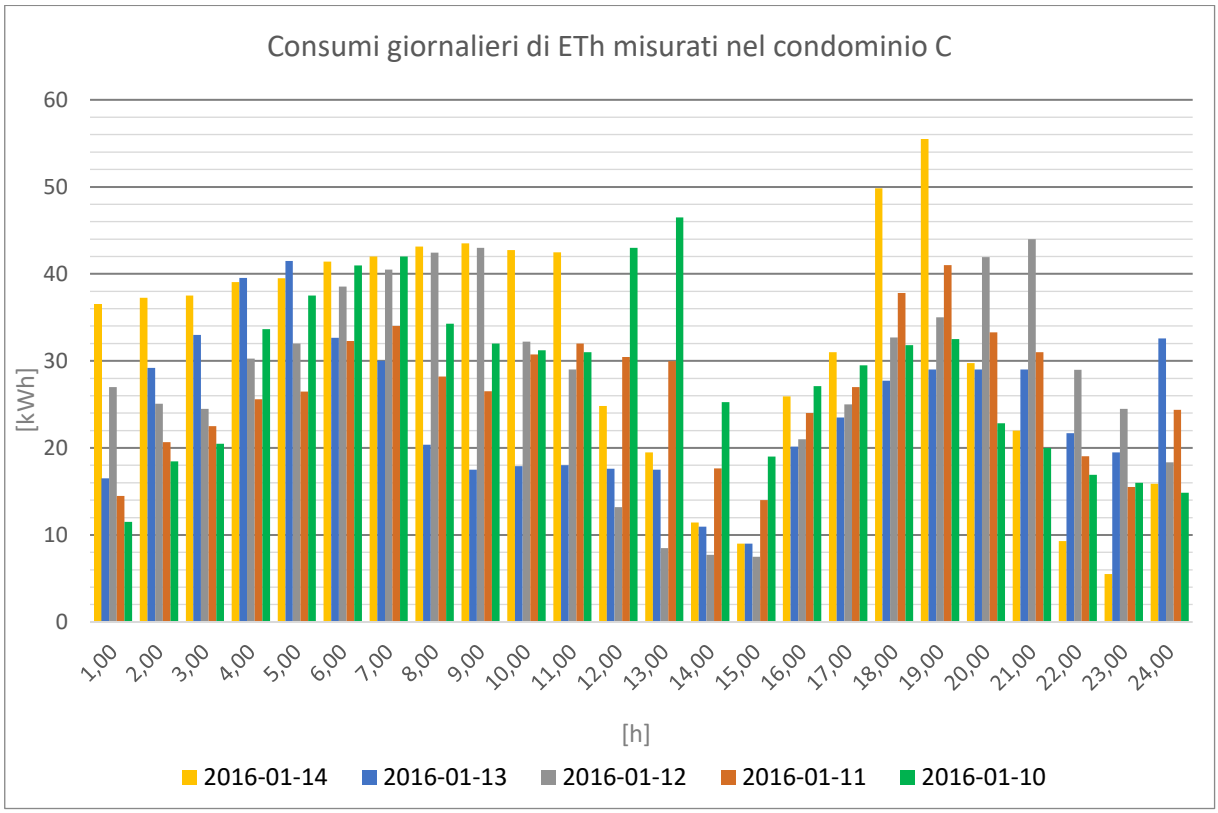


Figura 7.2 Profili di consumi orari di ETh per il condominio C nei giorni compresi tra 10 e il 14

gennaio 2016.

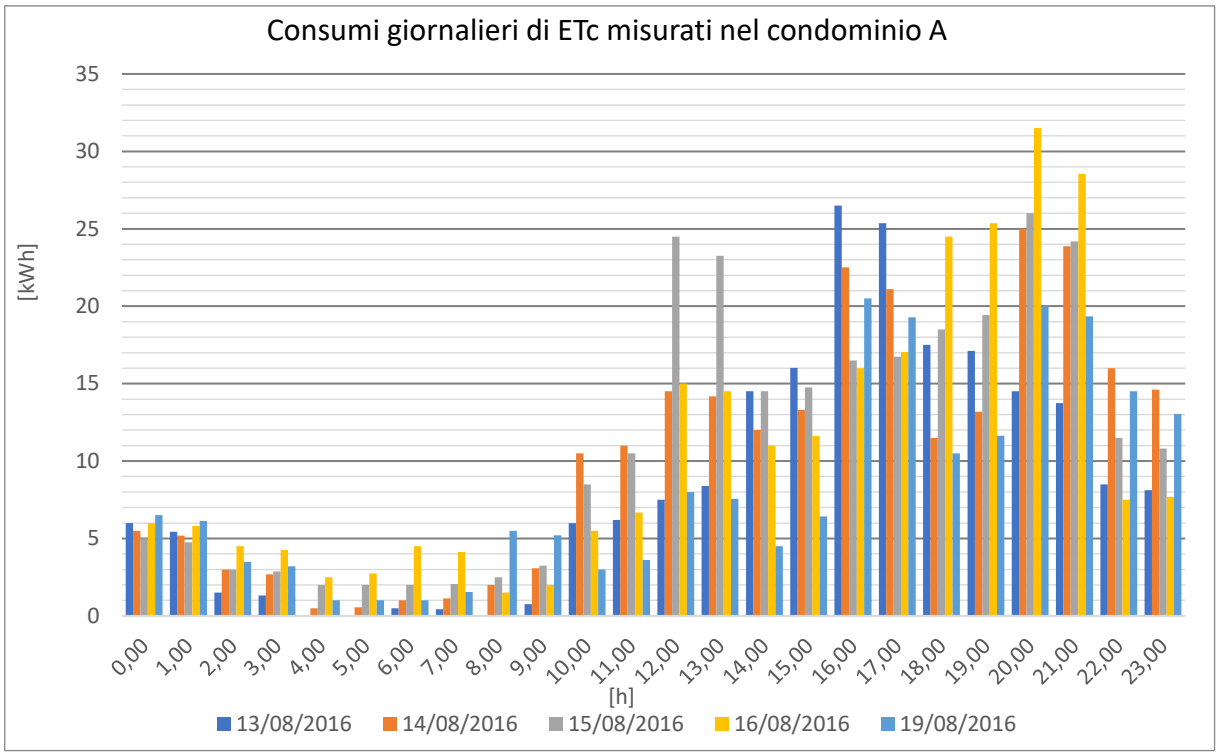


Figura 7.3. Profili di consumi orari di ETc per il condominio A nei giorni compresi tra 13 e il 19 agosto 2016.

I grafici dei profili giornalieri ricavati riportano alcune anomalie. Nel grafico in Figura 7.1 è presente un picco nel consumo di ACS, pari a 280 L, misurato fra le ore 23:00 e 24:00 del giorno 16/08/2016 nel condominio F. Nel grafici in Figura 7.2 e 7.3 sono visibili valori di consumo molto elevati in corrispondenza di ore notturne.

È stata approfondita l'analisi per due giorni scelti fra quelli in cui si è riscontrata l'anomalia. Si è scelto di esaminare i giorni 13 e 14 gennaio 2016. Per tali giorni si è registrato un consumo anomalo di energia termica per riscaldamento nelle ore notturne comprese fra le 23:00 e le 8:00. Nell'analisi è confrontata la somma dei consumi di ACS (kWh) e di ETh (kWh) con l'andamento della temperatura esterna e con il totale dei kWh elettrici assorbiti delle due PdC nei due giorni considerati.

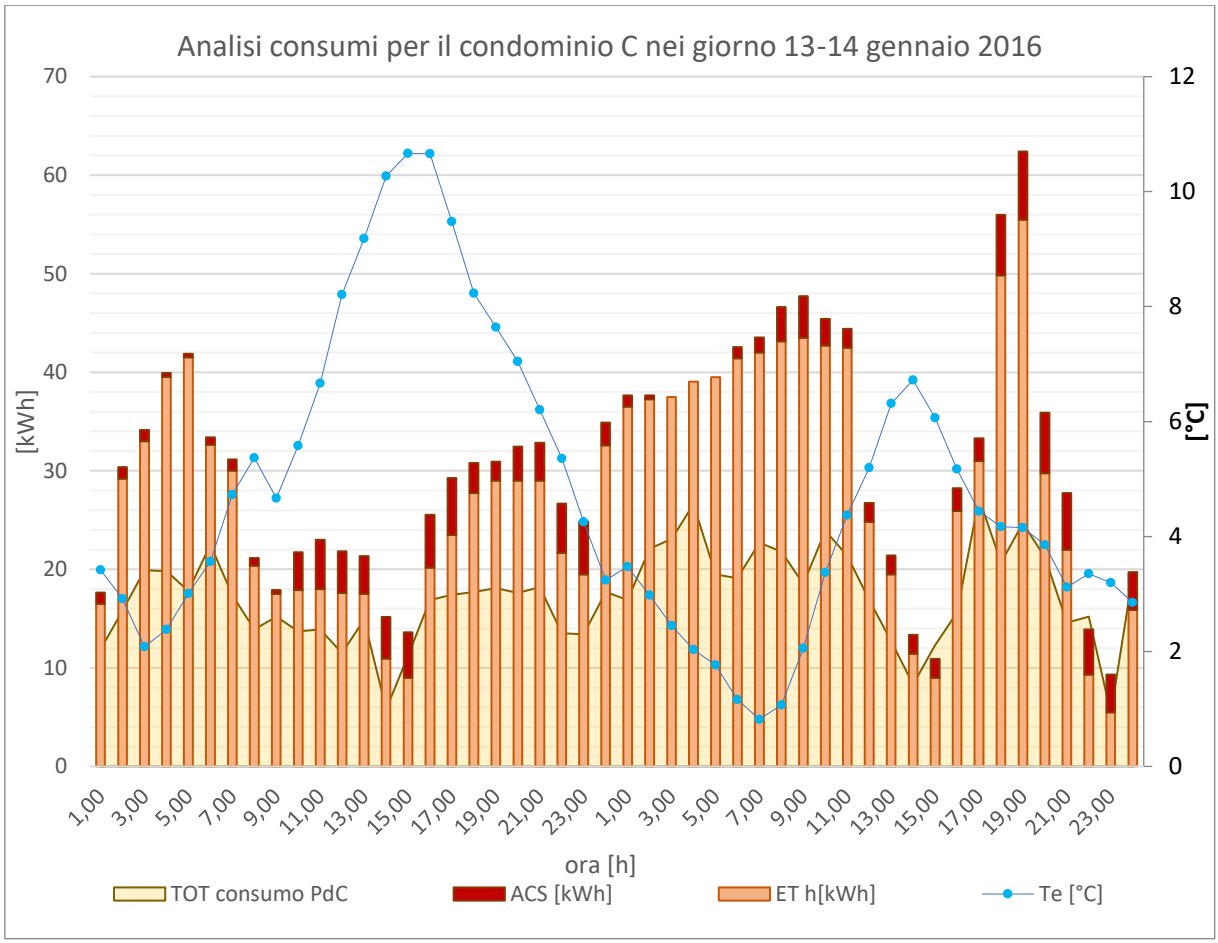


Figura 7.4. Analisi consumi di ACS e ETh per il condominio C nei giorni 13-14 gennaio 2016.

L'influenza dei consumi di ACS in kWh sul consumo orario di energia termica è minimo.

L'andamento del consumo di energia termica per il riscaldamento, se confrontato con l'andamento della temperatura esterna media oraria e con l'energia elettrica assorbita dalle due PdC, risulta plausibile. Fino alle ore 19:00 del 14 gennaio il profilo dei consumi è infatti specchiato all'andamento della temperatura esterna: ai due massimi relativi tracciati della curva della Te corrispondono i minimi consumi di energia termica i quali, al contrario, aumentano nelle ore più fredde notturne. A partire dalle ore 20:00 del 14 gennaio è invece visibile una diminuzione dell'energia termica consumata nonostante il calo della temperatura esterna. Tale andamento è spiegabile con una possibile riduzione dei set-point di regolazione della temperatura interna in vista delle ore notturne (attenuazione notturna).

I profili dei consumi di energia termica degli alloggi e dell'andamento della temperatura esterna risultano molto sincronizzati. Non è visibile uno sfasamento termico causato dall'inerzia dell'edificio. Lo sfasamento è rappresentato, su un grafico come quello creato, da una traslazione della curva dei consumi di energia termica, di un determinato intervallo temporale, a destra sull'asse delle ordinate.

L’area indicante l’energia elettrica assorbita dalle PdC, per surriscaldare l’acqua utilizzata sia degli impianti di riscaldamento che dal sotto-impianto per la generazione di ACS, ha un profilo concorde con la variazione di ETh. Lo scarto fra le due curve suggerisce inoltre una ridotta efficienza degli impianti meccanici dovuta ad un non ottimale rendimento delle due PdC o ad eccessive perdite di calore nella rete di distribuzione del fluido termovettore. Nelle ore in cui il profilo dei consumi raggiunge i punti di minimo, i kWh elettrici sono pressoché coincidenti con i kWh termici consumati nel condominio, evidenziando un’inadeguata efficienza del sistema di generazione e distribuzione del calore.

Al fine di poter correttamente interpretare le anomalie sopra riportate è necessario aggiungere alcune considerazioni. Come già spiegato i consumi sono ricavati dalla differenza fra due numeri progressivi, riferiti ad un determinato istante temporale, che indicano il totale del consumo effettuato dall’azionamento del contatore. I valori di consumo di ACS, AFS, ETc, ETh delle unità immobiliari, misurati da appositi contatori al superare del valore minimo del range di misura, vengono archiviato dal BEMS in un apposito database con un time-step di due ore. Il software del sistema di monitoraggio e gestione, per accelerare i tempi di calcolo delle varie operazioni eseguite e permettere una visualizzazione dei consumi con una più fitta suddivisione temporale, interpola i dati archiviati al fine di ottenere un valore ogni cinque minuti. Lo stesso processo di interpolazione garantisce inoltre che tutti i datapoint trovati siano riferiti al medesimo istante temporale, in modo da agevolare l’aggregazione dei valori qualora richiesta.

I valori orari di consumo di ACS e di energia termica sopra riportati non sono perciò le reali misurazioni effettuate nell’ora, ma una loro ricostruzione. Nella misurazione dei consumi di ACS potrebbe inoltre interferire un problema legato alla sensibilità dei dispositivi utilizzati.

Come spiegato nel capitolo 4 il contatore Woltmann, installato per la contabilizzazione dell’acqua, invia ogni dieci litri di consumo un impulso elettrico allo stesso strumento che permette la contabilizzazione dell’energia termica nelle unità imobiliari. Quest’ultimo, a sua volta, invia i dati al “concentratore di pianerottolo” ogni 2h. Ipotizzando che all’ora X sia archiviato una lettura e che per le due ore successive il consumo di acqua non superi, per una ridotta quota, i 10L. All’ora X+2h sarà archiviato dal BEMS una lettura identica alla precedente. I 10 L di consumo, effettuati fra le ore X e X+2h, andranno così ad accumularsi al consumo che risulta essere effettuato in un intervallo di tempo differente dal reale di diverse ore. Questo problema non può influire significativamente sui comuni relativi ad un intero condominio, ma potrebbe distorcere le analisi effettuabili sui profili di consumo orario per una singola unità

immobiliare.

Si è calcolato, al fine di ricavare dei profili rappresentativi per ogni mese, la media della serie di valori di consumo misurati alla stessa ora nei diversi giorni del mese considerato. In allegato sono riportate le tre tabelle in cui sono raccolti i profili giornalieri di consumo orario medio mensile calcolati per l'acqua calda sanitaria e l'energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva. In ogni grafico è presente il profilo del rispettivo consumo normalizzato e, per ogni valore orario, è riportata un'indicazione del massimo e del minimo consumo misurato nella stessa ora del mese. Le curve così trovate hanno un profilo comune e tipico dei consumi di energia in ambito residenziale. Sono caratterizzate dalla presenza più o meno evidente di un picco mattutino ed uno serale.

È visibile, soprattutto nei profili dei consumi termici per riscaldamento, una maggior somiglianza fra le tabelle sottostanti la stessa colonna rispetto a quelle sottostanti la stessa riga (vedere per esempio i profili di ETh dei mesi marginali della stagione di riscaldamento) che suggerisce la presenza di un profilo caratteristico per ogni mese. L'estrazione di un profilo tipico per ogni mese può essere utile nelle strategie di controllo dei consumi e di ricerca di potenziali anomalie nel funzionamento degli impianti meccanici.

Riferimenti Bibliografici

1. Anna carolina Menezes, Andrew Cripps; Dino Bouchlaghem, Richard Buswell, Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupance evaluation data to reduce the performance, Elsevier, 20 dicembre 2011;
2. Pieter de Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, Elvieser, 2 marzo 2014;
3. Suzaini M. Zaid, Amir kiani, Energy Prediction versus Energy Performance of Green Buildings in Malaysia. Comparison of Predicted and Operational Measurement of GBI Certified Green Office in Kuala Lumpur, Matec Web Conferences, 2016;
4. Giuliano Dall'O', Luca Sarto, Annalisa Galante, Giulia Passetti, Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy), Elsevier, 28 novembre 2011.
5. Pieter de Wilde, Roby Jones, The building energy perormance gap: up close and personal, Reserchgate.net., aprile 2014;
6. B.D. Lee, Yuming Sun, Godfried Augenbroe, Christiaan j.j. Paredis, Towards better prediction of building performance: a workbench to analyse uncertanty in building simulation, Reserchgate.net, gennaio 2013;
7. Giovanni D'Alessio; Romina Gambacorta; Questioni di economia e finanza (Occasional papers) L'accesso all'abitare di residenza in Italia; Banca d'italia; luglio 2007;
8. Direttiva 2012/27/UE del parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica;
9. Direttiva 2010/31/EU del parlamento europeo e del consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizi;
10. Norma CEI 205-2 – Guida ai sistemi bus su doppino per l'automazione nella casa, del CT 205;
11. ILETE guida alla certificazione part a – scenario europeo, http://www.energia.provincia.tn.it/binary/pat_agenzia_energia/pubblicazioni/Guida_alla_certificazione.1307617873.pdf;
12. ILETE guida alla certificazione part a – scenario locale; *www.energia.provincia.tn.it;*
13. Alfonoso Capozzoli; Marco Savino Pisciatelli; Silvio Brandi; Mining typical load profiles in building to support energy mnagement in the smart city context;

Reserchgate.net; agosto 2017;
14. University of Westminster; Guide to post occupancy evaluation; hefce; 2006;
15. Behzad Sodagar; Diane Starkey; The monitored performance of four social houses certified to the Code for Sustainable Homes Level 5; Elservier; novembre 2015;
16. Davide Calì; Tahja Osterhage; Rita Streblow; Dirk Muller; Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test; Elservier maggio 2016;
17. Zachary M. Gill; Michael J. Tierney; Ian M. Pegg; Neil Allan; Measured energy and water performance of an aspiring low anergy/carbon affodable housing site in the UK. Elservier; agosto 2010;
18. Stephen Pretlove; Sidonie Kade; Post occuance evaluation of social housing designed and built to Code for Sustanible Home levels 3,4 and 5;
19. Supplementi al Bollettino Statistico, I bilanci delle famiglie italiane nell'anno 2014, 3 dicembre 2015, Banca d'Italia;
20. Legge 9 gennaio 1991, n. 10, "Norme per l'attuazione del piano nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia";
21. Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;
22. Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n.311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192;
23. Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici,
24. Il DGR VIII/8745 del 22/12/08 "Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici";
25. Deliberazione Giunta regionale 26 giugno 2007 - n. 8/5018 "Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici, in attuazione del d.lgs. 192/2005 e degli art. 9 e 25 della l.r. 24/2006";
26. Decreto n. 6480 del 30 luglio 2015 "Disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici e per il relativo attestato di prestazione energetica a seguito della dgr 3868 del 17.7.2015"
27. Decreto n. 176 del 12 gennaio 2017 "Aggiornamento delle disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici e al relativo attestato di prestazione energetica, in sostituzione delle disposizioni approvate con i decreti n°

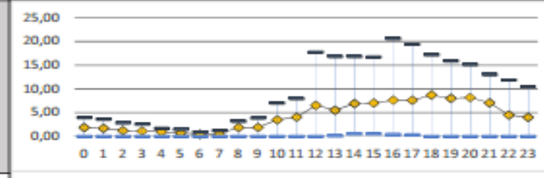
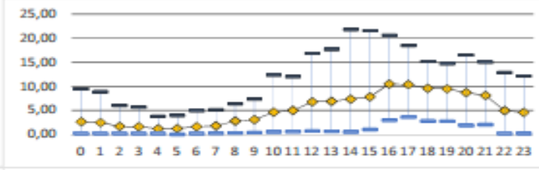
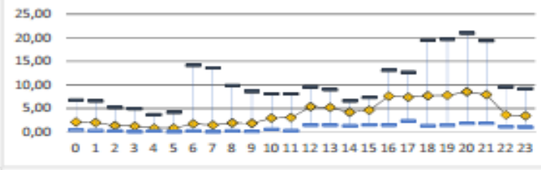
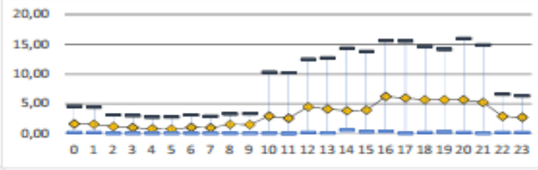
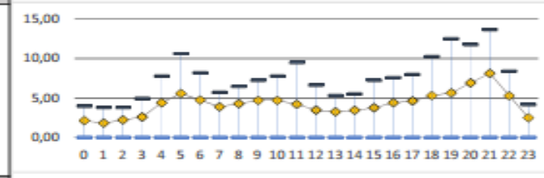
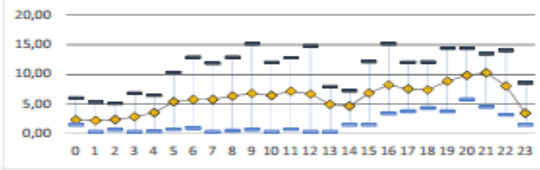
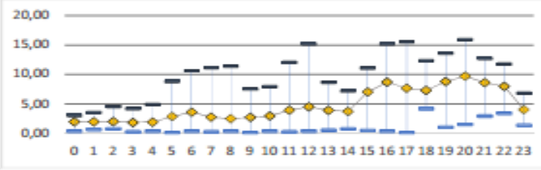
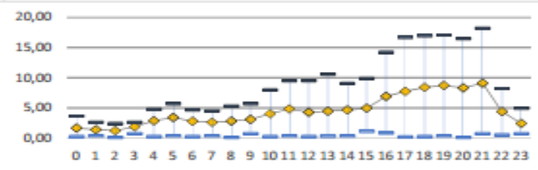
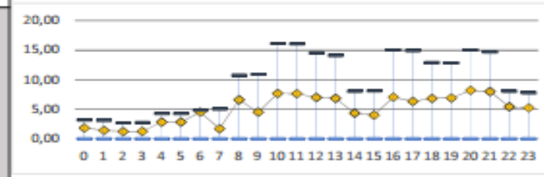
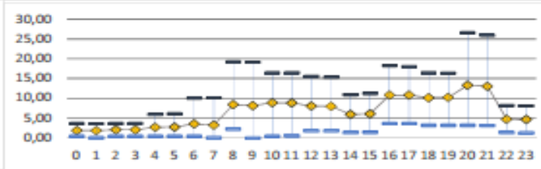
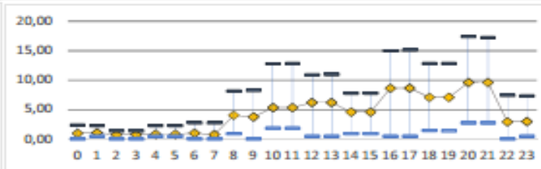
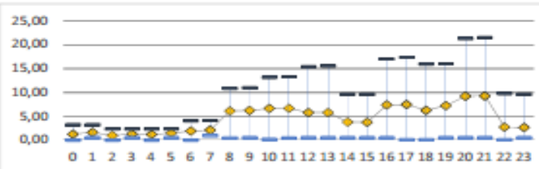
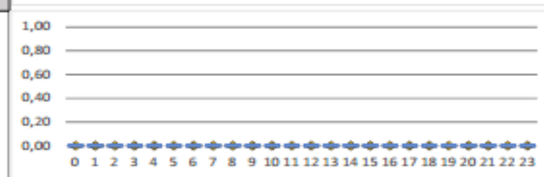
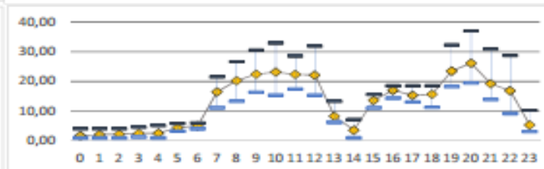
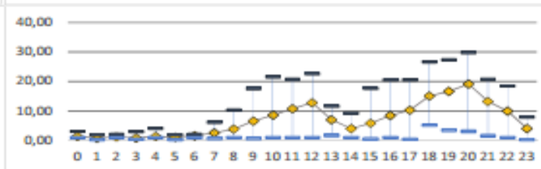
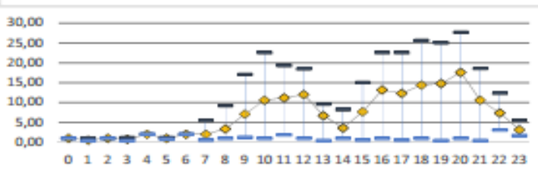
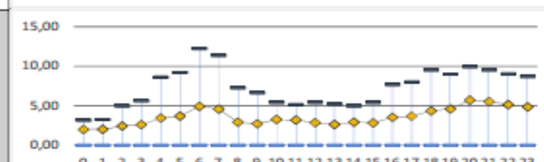
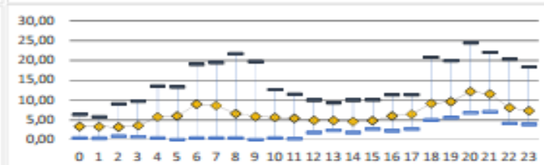
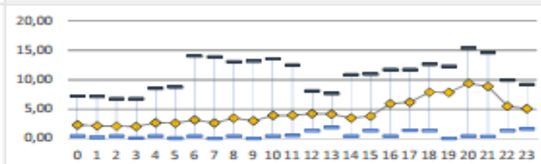
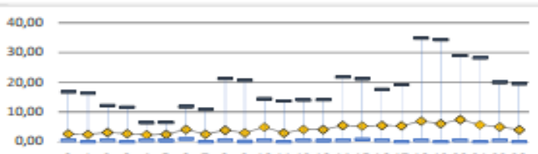
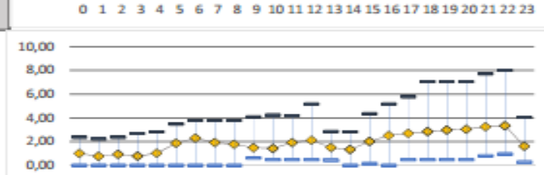
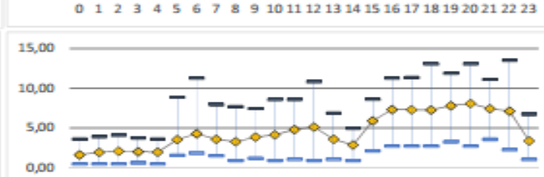
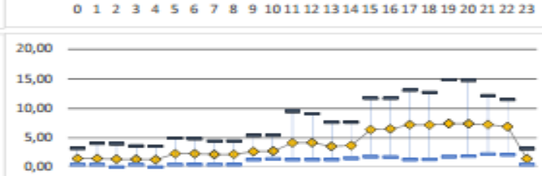
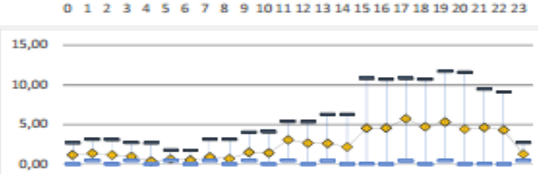
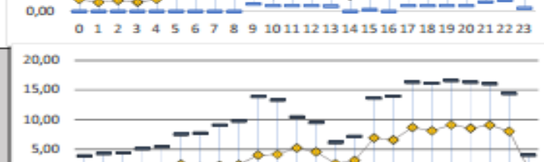
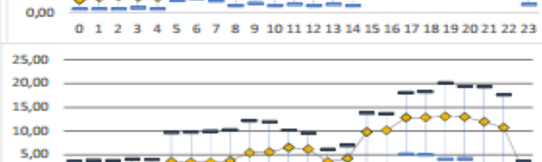
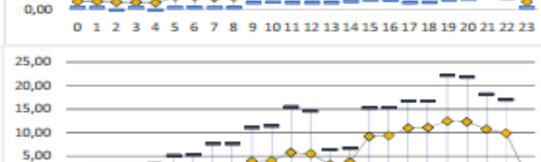
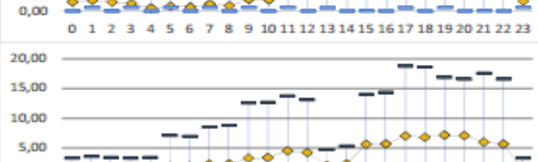
6480/2015 e n° 224/2016";

28. Decreto n. 2456 del 3 marzo 2017 "Integrazione delle disposizioni per l'efficienza energetica degli edifici approvate con decreto n. 176 del 12.1.2017 e riapprovazione complessiva delle disposizioni relative all'efficienza energetica degli edifici e all'attestato di prestazione energetica";
29. Alessandro Veronesi; Samuele Da Ros; Building Management System (BMS); Emerson;
30. Gabriele Landini; Gabriele Raffellini; Building Management System; Progetto&Pubblico; luglio 2007;
31. L. Martirano; D.A. Sbordono; M. Manganelli; Biagio Di Pietra; Strumenti per favorire la valutazione dei sistemi di building automation negli edifici residenziali e definizione di indici di efficienza di sistemi di generazione locale con accumulo; Enea; settembre 2015;
32. G. Fasano; C. Romeo; M. Zinzi; P. Signoretti; D. Latauro; G. Centi; B. Di Pietra; E. Costanzo; Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici; Enea; settembre 2013;
33. Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412;
34. UNI EN ISO 13790:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento";
35. UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale";
36. UNI/TS 11300-2:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali".

Allegati

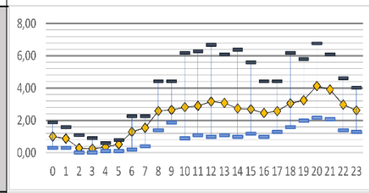
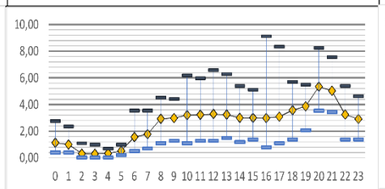
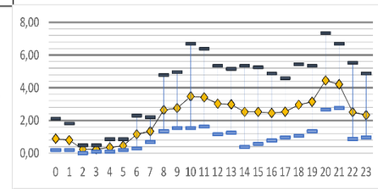
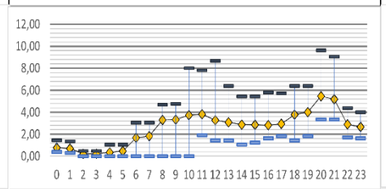
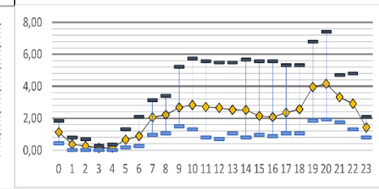
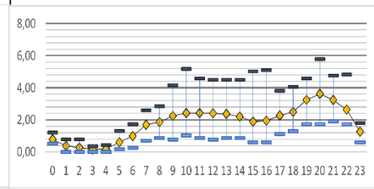
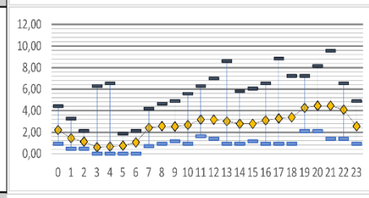
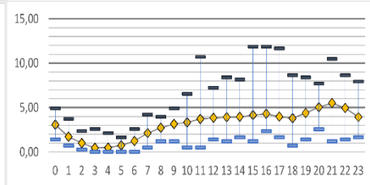
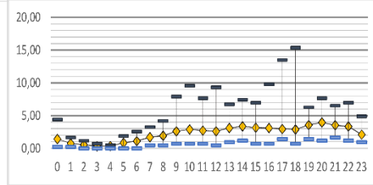
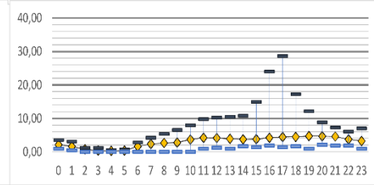
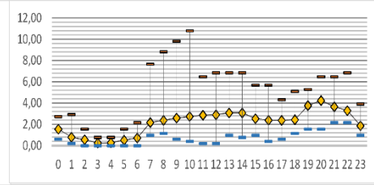
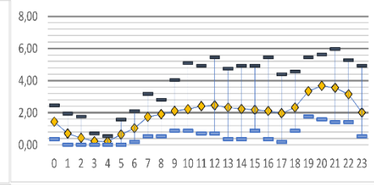
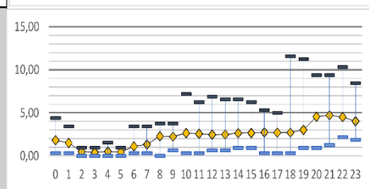
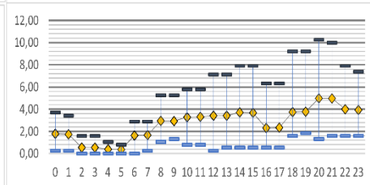
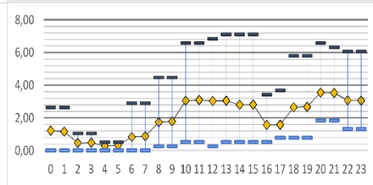
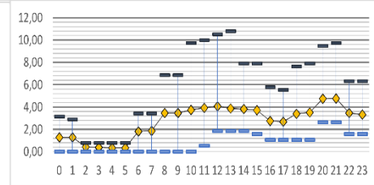
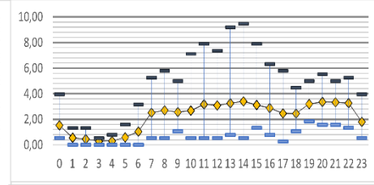
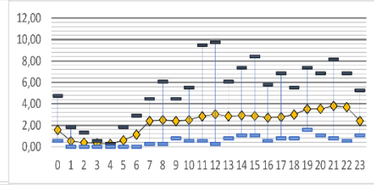
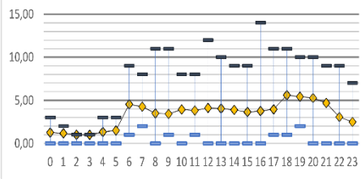
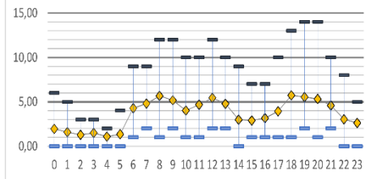
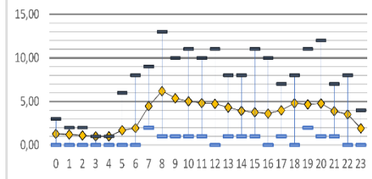
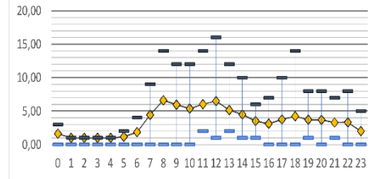
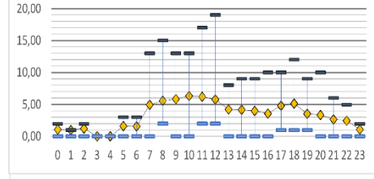
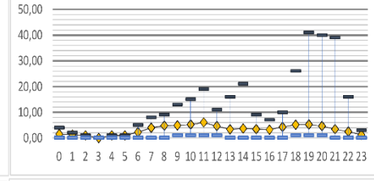
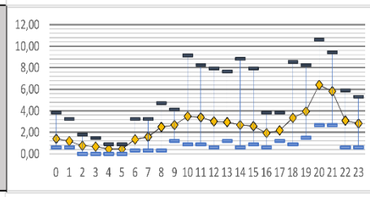
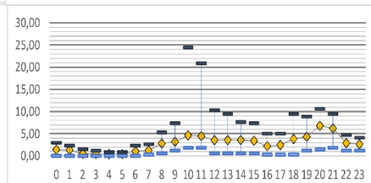
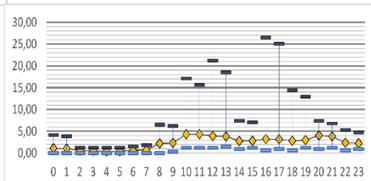
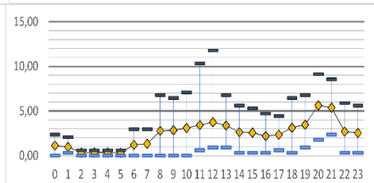
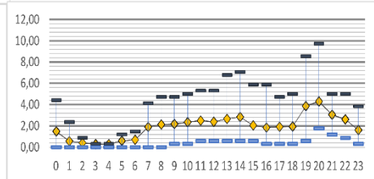
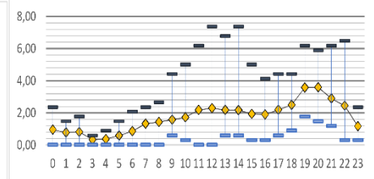
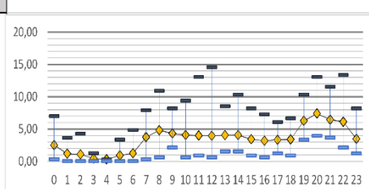
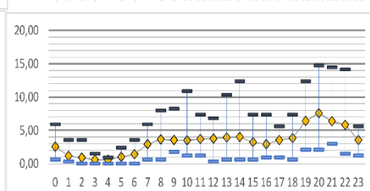
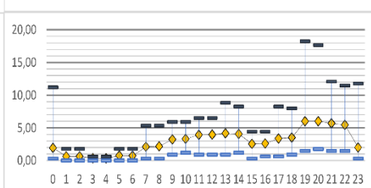
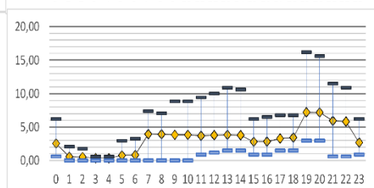
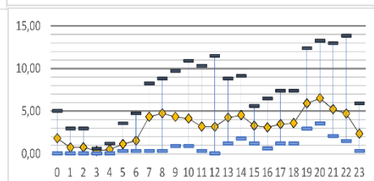
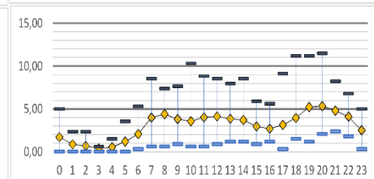
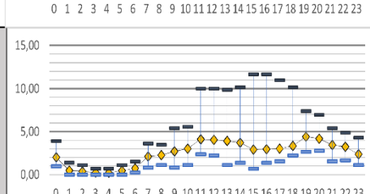
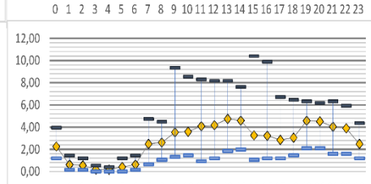
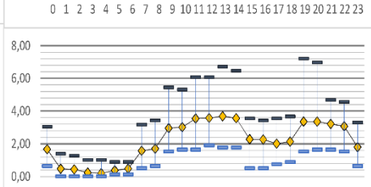
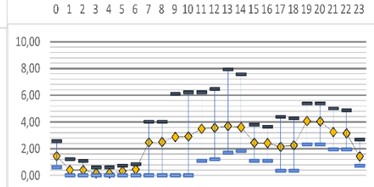
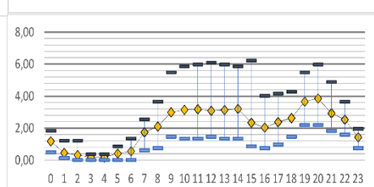
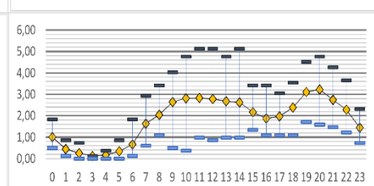
Valori orari medi mensili di Eth normalizzati rispetto i m2 di superficie occupati in ogni mese [kWh/mq]
ott-16
nov-16
dic-16
gen-17
feb-17
mar-17
apr-17
condominio A
condominio B
condominio C
condominio D
condominio E
condominio F
condominio G
ORA [h]
consumo orario medio mensile al mq
valore max
valore min

Valori orari medi mensili di Etc normalizzati rispetto i m^2 di superficie occupati in ogni mese [kWh/mq]

	giu-16	lug-16	ago-16	set-16
condominio A				
condominio B				
condominio C				
condominio D				
condominio E				
condominio F				
condominio G				

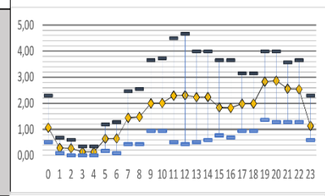
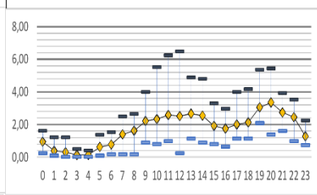
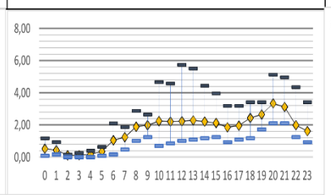
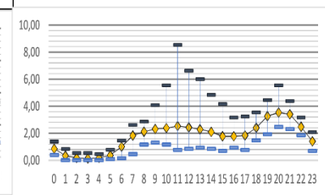
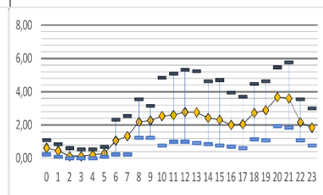
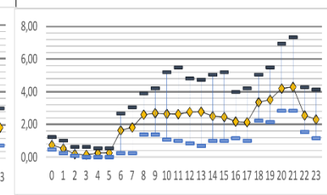
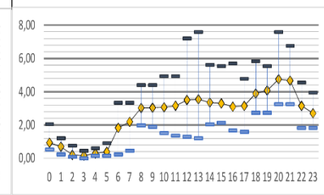
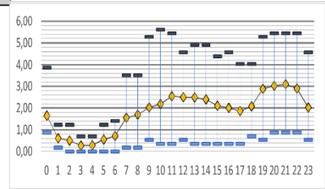
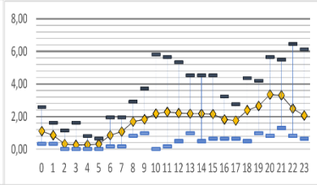
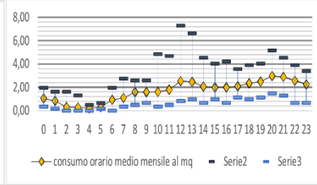
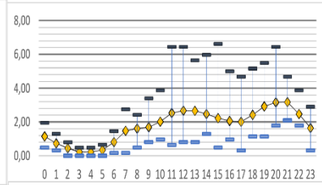
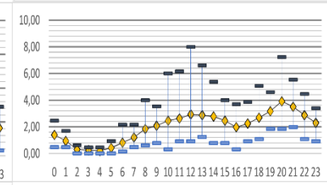
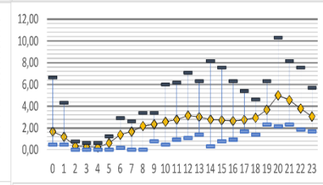
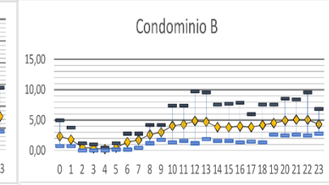
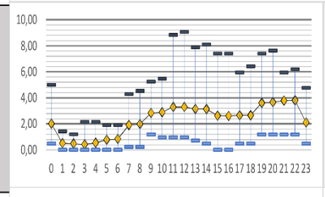
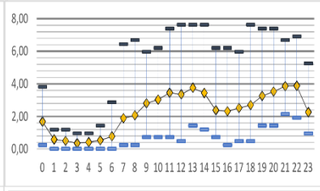
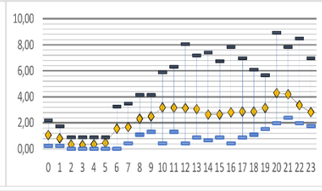
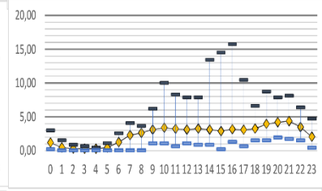
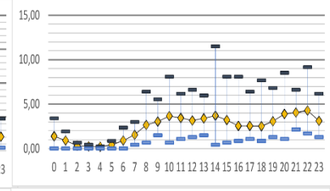
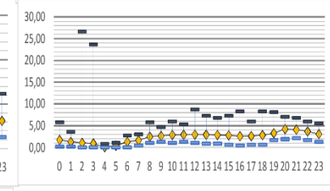
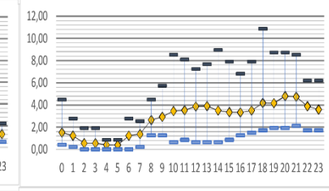
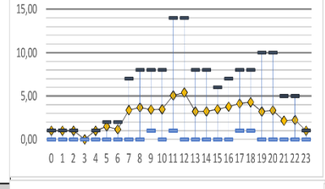
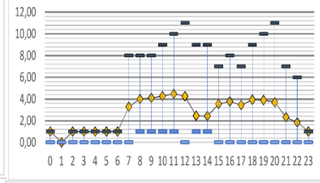
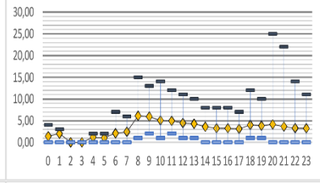
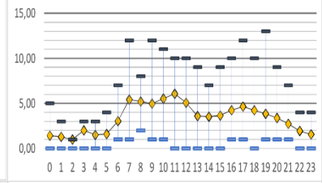
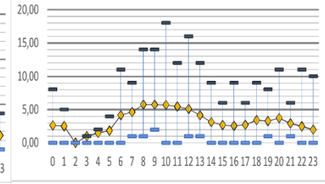
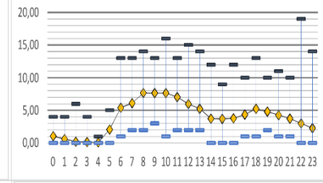
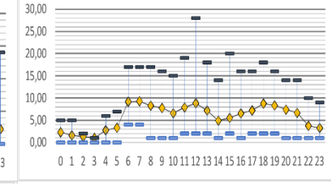
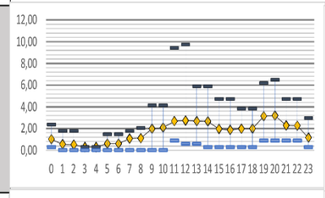
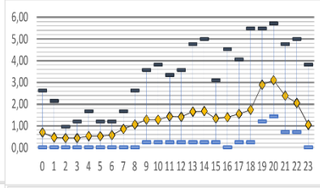
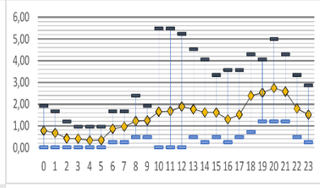
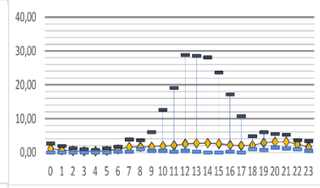
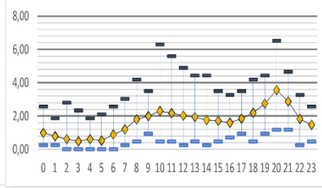
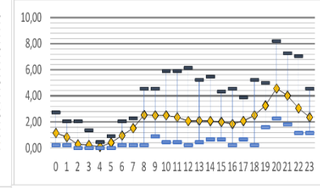
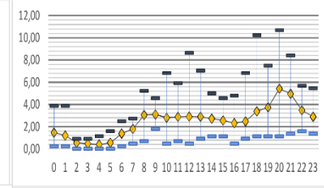
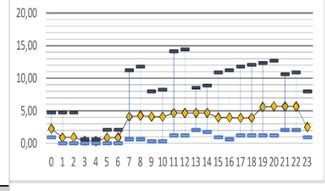
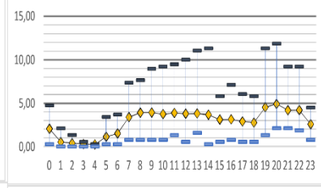
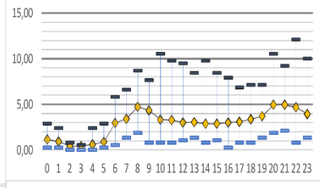
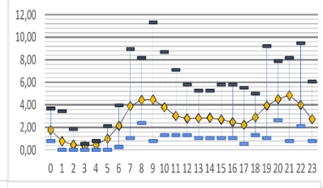
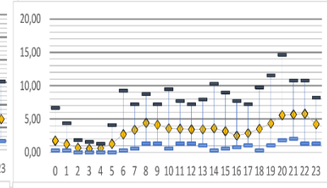
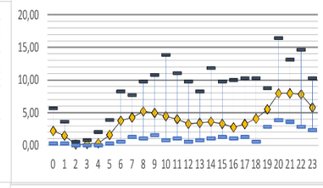
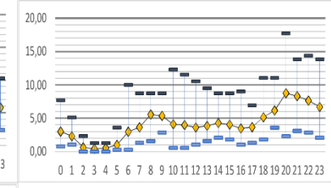
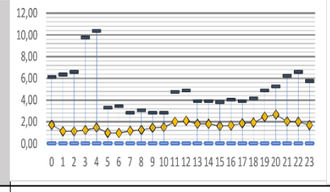
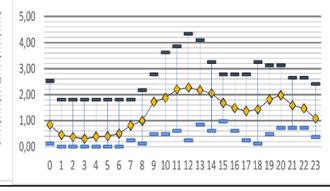
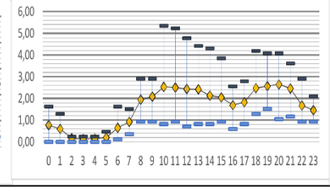
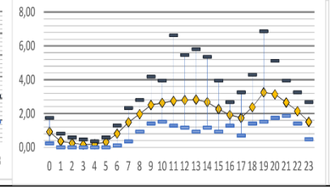
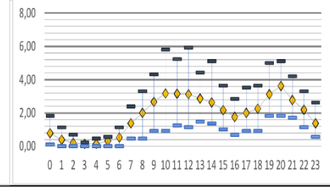
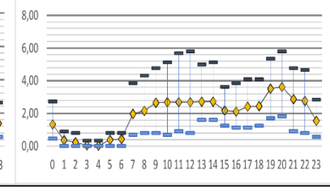
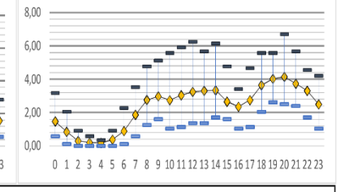
consumo orario medio mensile al mq — valore max — valore min

Valori orari medi mensili di ACS normalizzati rispetto il numero di persone presenti negli alloggi in ogni mese [L/pers.*h]

	giu-16	lug-16	ago-16	set-16	ott-16	nov-16
condominio A						
condominio B						
condominio C						
condominio D						
condominio E						
condominio F						
condominio G						

consumo orario medio mensile al mq — valore max — valore min

Valori orari medi mensili di ACS normalizzati rispetto il numero di persone presenti negli alloggi in ogni mese [L/pers.*h]

	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17
condominio A							
condominio B							
condominio C							
condominio D							
condominio E							
condominio F							
condominio G